



جمهورية مصر العربية
وزارة التربية والتعليم والتعليم الفني
الإدارة المركزية لشئون الكتب

الفيزياء

للفصل الثاني الثانوي



طبعة ٢٠١٨-٢٠١٩

غير مصرح بتداول هذا الكتاب خارج وزارة التربية والتعليم والتعليم الفني



Egyptian Knowledge Bank
بنك المعرفة المصري

الفيزياء

للفف الثاني الثانوى

لجنة إعداد الكتاب المطور

أ. د محمد سامح سعيد

أ. د مصطفى كمال محمد يوسف

د مصطفى كمال محمد يوسف

د مصطفى محمد السيد محمد

أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد

لجنة التعديل

أ/صدقة الدردير محمد

أ. د محمد أحمد كامل

جميلة عبد السميع محمود

علاء الدين محمد أحمد عامر

مستشار مادة العلوم

أ. يسرى فؤاد سويرس

الإشراف التربوى

مركز تطوير المناهج والمواد التعليمية

٢٠١٨ / ٢٠١٩

غير مصرح بتداول هذا الكتاب خارج وزارة التربية و التعليم و التعليم الفني

المقدمة

الفيزياء هي ركيزة العلوم الأساسية : فكلما فيزياء تعنى فهم طبيعة هذا الكون من حولنا وما يجرى فيه كبيراً وصغيراً. وهي أصل العلوم ويتشابه معها علم الكيمياء الذى يختص بفهم التفاعلات بين المواد، وعلم البيولوجى ويختص بما يحدث فى الكائنات الحية. وعلم الجيولوجيا ويعنى بفهم طبقات الأرض . وعلم الفلك ويعنى بالأجرام السماوية. ولكن فى النهاية تبقى الفيزياء أم العلوم وهي أساس التقدم العلمى والتكنولوجى الهائل. وفهم الفيزياء يعنى فهم القوانين الحاكمة لهذا الكون وهو ما أدى إلى النهضة الصناعية الحضارية التى يقودها الغرب الآن. ولم يكن العرب والمسلمون عامة قادة الحضارة فى العالم إلا بادراكهم لقيمة فهم قوانين هذا الكون. وكان لهم فضل اكتشاف معظم قوانين الفيزياء قبل الغرب بقرون. وما أسس الطب والفيزياء والكيمياء والفلك والرياضيات والموسيقى إلا من وضع علماء العرب والمسلمين. إن فهم الفيزياء وتطبيقاتها يحول المجتمع من مجتمع ضعيف وفقير ومتخلف إلى مجتمع قوى وغنى ومتقدم. وهذا ماحدث بالفعل فى أوروبا وأمريكا واليابان الكمبيوتر والأقمار الصناعية والتليفون المحمول والتلفزيون كل هذه من ثمار علم الفيزياء. ثم انهم يبحثون الآن فى تركيب الجينات وتصنيع كمبيوتر بالشفرة الجينية. وقريبا يتم تصنيع كمبيوتر باستخدام الذرة والليزر.

إنه عالم رحب لا حدود للخيال فيه . والذى يجهله إنما يحكم علي نفسه بالفناء في عالم لايعترف إلا بسطوة العلم وقوة الفكر وروعة الإبداع. إن التقدم العلمى ثمرة لسلسلة طويلة من الاكتشافات، إذ لم يأت هذا التقدم فجأة ولكنه رصيد متراكم. فالعلم مشروع جماعى . كل من ساهم فيه كان لابد له أولاً أن يستوعب ما حققه الآخرون قبله. وتتابعياً تم بناء هذا الصرح العظيم من تراكم الخبرة الإنسانية عبر التاريخ. ولكن المطلوب من طالب العلم فى هذا العصر أن يلم وبسرعة بما سبق تراكمه من معرفة فى فترة زمنية وجيزة حتى يمكنه أن يضيف جديداً فى فترة حياته وهي أولاً وآخرها فترة محدودة. كيف إذاً يمكن حصر كل ما سبقنا فيه الأولون فى فترة دراسية محددة حتى نفهم ثم نضيف؟ من حسن الحظ أننا فى دراستنا لما سبقنا فيها الأولون نأخذ خلاصة ما وصلوا إليه ونغض الطرف عن سنوات طويلة من تفاصيل العناء والبحث والتجربة والملاحظة والمحاولات والإخفاقات. نأخذ فقط ما صح من النتائج وما انتهى إليه الآخرون قبلنا وبما استقر عليه الفهم بعد أن نضج العقل البشرى علي مدى القرون. ومن ثم فعلينا أن نركز على المفاهيم الأساسية فى هذا البحر الزاخم ونترك التفاصيل لما بعد، فلا يمكن أن يلم أحد بكافة تفاصيل العلم ولو قضى حياته كلها فى فرع صغير من فروع أى علم من العلوم. ولكننا لابد أن نركز على عدد محدود من المفاهيم الرئيسية والمرجعية ، ونمهد لما بعدها.

ينقسم هذا الكتاب إلى ثلاث وحدات:

تتناول الوحدة الأولى الموجات وهي أساس كل الاتصالات في هذا الكون. ومن ثم يتناول الفصل الأول أساس الحركة الموجية. والفصل الثاني يتناول الضوء وهو أحد صور الموجات الكهرومغناطيسية ، مثل : موجات الإذاعة والتلفزيون ، وأساس عمل أجهزة التلفون المحمول، والتواصل مع المحطات الفضائية عبر الأقمار الصناعية .

اما الوحدة الثانية فتتناول خواص الموائع وهي السوائل والغازات وهي امتداد لقوانين الميكانيكا التي سبق دراستها في الصف الأول من التعليم الثانوى العام ولكن في حالة الموائع، ويختص الفصل الثالث بالموائع الساكنة، والفصل الرابع بالموائع المتحركة.

تتناول الوحدة الثالثة الحرارة حيث يتم دراسة قوانين الغازات في الفصل الخامس.

ولقد روعى في هذا الكتاب مايلى :

١ - إزالة الحشو والتفاصيل غير الضرورية في هذه المرحلة الدراسية والتركيز علي المفاهيم العامة وترك الزيادات التي لا تصب مباشرة في الفهم العام للموضوع.

٢ - البدء بالموجات باعتبارها الموضوع الأعم حيث تتطلب الموجات وسطاً مادياً (في حالة الصوت) أو لا تتطلب هذا الوسط (مثلا في حالة الضوء). تليها وحدة الموائع باعتبارها حالة خاصة للوسط وما قد يحدث فيه من اهتزازات أو انتقال جسيمات الوسط من مكان لآخر.

٣ - بدأ فصل الحرارة بقوانين الغازات

٤ - يتميز الكتاب بإضافة أمثلة علي التطبيقات اليومية المحسوسة توضيحاً للمفاهيم الفيزيائية من الواقع سواء في النص أو كمعلومات إثرائية لربط النظرية بالتطبيق على أن تبقى هذه المعلومات الإثرائية غير ملزمة في الإمتحان ويظل دورها من قبيل التشويق العلمى.

٥ - يحتوى الكتاب علي عدد عائل من الصور المحدثه الواضحة مذيبة بتوصيف لكل صورة كما تم إخراج الكتاب فى أربعة ألوان طبقا للمقاييس العالمية فى الكتب المدرسية المتطورة.

٦ - يحتوى الكتاب على العديد من الأمثلة المحلولة والأسئلة والتمارين وكلها تقوى الإدراك لدى الطالب بالمعنى الفيزيائى والفهم العميق للمفاهيم الأساسية.

٧ - ذيل الكتاب بستة ملحقات عن الرموز والأبعاد والوحدات والثوابت الفيزيائية والبادئات القياسية والحروف الأبجدية اليونانية وأسماء بعض العلماء وانجازاتهم وبعض المواقع الخاصة بالفيزياء على الإنترنت.

٨ - روعى فى الكتاب أن تكون المعادلات باللغة الإنجليزية والمصطلحات باللغتين العربية والانجليزية وجميع الوحدات المستخدمة طبقا للنظام الدولى .

٩ - وقد تم تزويد الكتاب بروابط على بنك المعرفة المصرى

www.ekb.eg

منها ما هو فى سياق الموضوعات ، ومنها ما هو إثرائى لتعميق المعرفة والفهم تشجيعاً للطلاب على المزيد من البحث والاطلاع.

١٠ - وقد قام المركز الاستكشافى للعلوم الفرع الرئيسى - حقائق القبة - بالتجهيزات الفنية والإخراج الفنى لهذا الكتاب طبقا للمواصفات العالمية للكتب الدراسية المطورة مع مراعاة ألا يزيد عدد الأسطر فى الصفحة الوحدة عن ٢٤ سطر لإراحة العين ، والإكثار من الصور المعبرة عن المادة العلمية، والاهتمام بتصميم الغلاف كعامل جذب للطالب. وفى النهاية نوجه رسالة إلى الطالب بأن يأخذ علم الفيزياء بحب لأن فهم الفيزياء هو فهم كل ما حولنا فى الحياة وكل الاختراعات التى نتعامل معها وتلك التى ستخرج إلى النور فى المستقبل القريب. ورسالة للمدرس بأن يكون تدريس الفيزياء بحب وبأسلوب مبنى على نقل المفاهيم لا تلقين الدروس مع ربط كل مفهوم بالمشاهدات اليومية ليكون التعلم مشوقاً ومفيداً. فقد يكون بين هؤلاء الطلبة أمامك من سيخرج فى المستقبل القريب بإذن الله ليكون علما تتحدث عنه الدنيا ويتحدث هو عنك بالفضل والعرفان علي أنه فى يوم من الأيام تعلم على يدك وفهم اصول العلم منك وأنت أنت الذى مهدت له الطريق. وكفاك بهذا فخراً.

لجنة اعداد منهج الفيزياء

أ.د مصطفى كمال محمد يوسف

أ.د. محمد سامح محمد سعيد

د. مصطفى محمد السيد محمد

د. طارق محمد طلعت سلامة

أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد

المحتويات

مقدمة

الوحدة الأولى : الموجات : ٢ - ٤٨

الفصل الأول : الحركة الموجية ٤

الفصل الثاني : الضوء ٢٢

الوحدة الثانية : خواص الموائع: ٤٩ - ٨٦

الفصل الثالث :خواص الموائع الساكنة ٥٠

الفصل الرابع :خواص الموائع المتحركة ٧٤

الوحدة الثالثة :الحرارة : ٨٧ - ١٠٩

الفصل الخامس :قوانين الغازات ٨٨

الوحدة الأولى

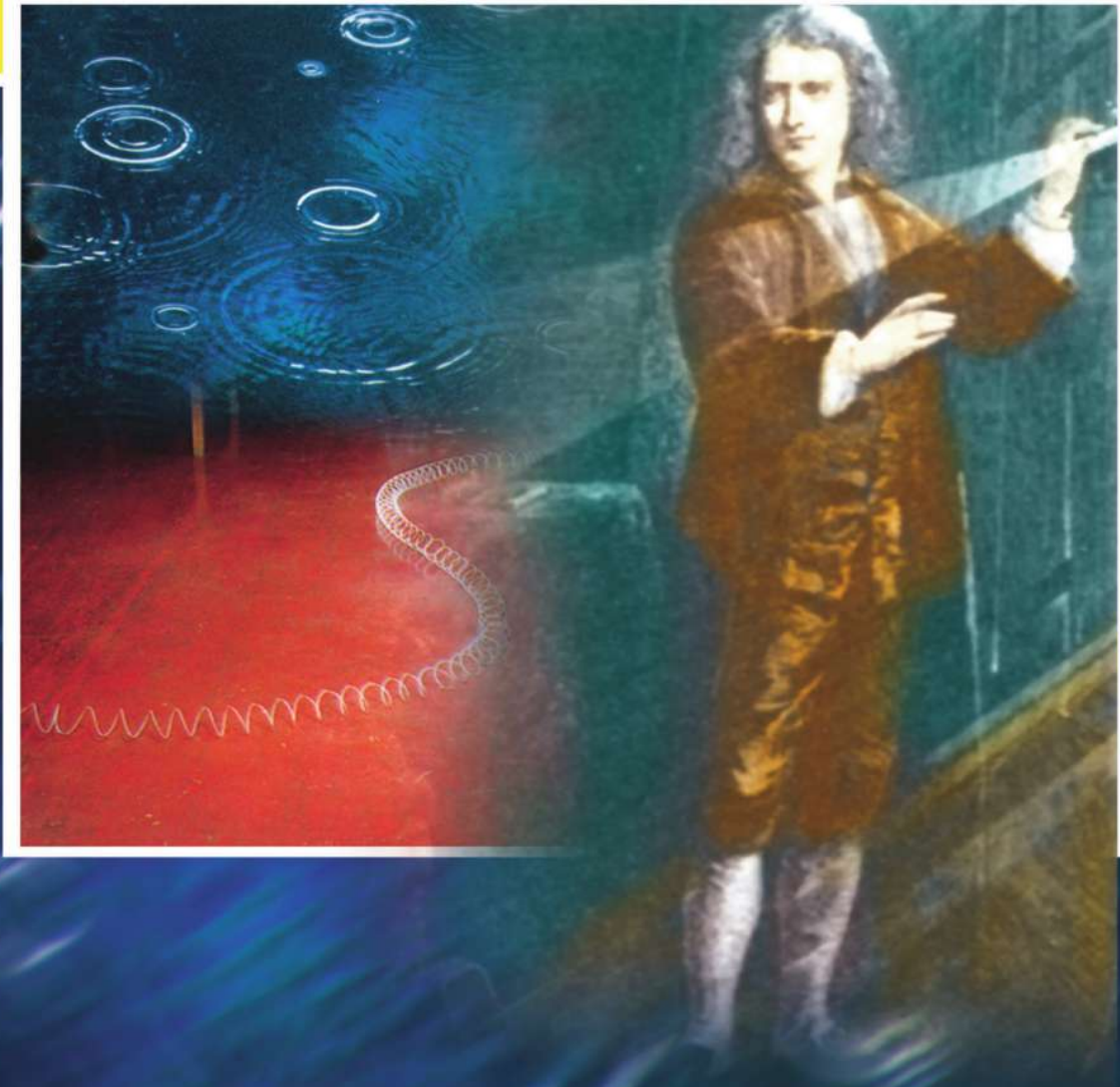
الموجات

الفصل الأول: الحركة الموجية

الفصل الثاني: الضوء

الموجات

الوحدة الأولى



الفصل الأول: الحركة الموجية

الموجات Waves

الوحدة الأولى

الحركة الموجية Wave Motion

الفصل الأول

المقدمة :

يجد بعضنا متعته في مراقبة الموجات تتهاذى فوق سطح الماء ، تداعب عوامة صغيرة لشص (سنارة) يستخدم في صيد السمك، أو تضرب بخفة قارباً صغيراً فيتأرجح القارب ويهتز، ويجد بعضنا الآخر متعته في الجلوس على شاطئ بحيرة أو بركة يلقي في الماء - من آن لآخر - حصاة صغيرة ، فيكون تصادم كل حصاة مع سطح الماء بمثابة مصدر اضطراب ينتشر فوق سطح الماء على هيئة دوائر منتظمة ، مركزها موضع سقوط تلك الحصاة (شكل ١ - ١) وهو ما اصطلحنا على تسميته بالموجات

فالموجة هي اضطراب ينتقل وينقل الطاقة.



شكل (١ - ١)

موجات تنتشر من مصدر على هيئة

نقطة يحدث عندها اضطراب

وليست موجات الماء هي وحدها الموجات التي نألفها ، فكثيراً ما يطرق آذاننا كل صباح صوت المذيع، معلنا : هنا القاهرة إذاعة القاهرة تحييكم وتبدأ إرسالها لكم على موجة متوسطة طولها 366.7m مثلاً . كذلك فالتليفزيون ينقل الصوت والصورة ، حيث تتحول إلى موجات تنتشر في الفراغ ويستقبلها الهوائي (الإيرال) فتتحول هذه الموجات إلى إشارات كهربية في جهاز الاستقبال ، حيث يتم تحويلها إلى صوت وصورة. كذلك فإن التليفون المحمول يتعامل مع موجات تنقل الصوت من المرسل إلى المستقبل، حيث تتحول الإشارات الصوتية إلى إشارات كهربية ، ومنها إلى إشارات كهرومغناطيسية تنتشر في الفراغ والوسط المحيط ،

ويستقبلها هوائى التليفون المحمول لدى المستقبل ، فتتحول إلى إشارة كهربية ثم إلى صوت وأحياناً إلى صورة .

موجات الماء نراها، ولكن موجات الراديو والتليفزيون والتليفون المحمول ندركها من آثارها. موجات الماء موجات ميكانيكية Mechanical waves وكذلك موجات الصوت والموجات المنتشرة فى الأوتار أثناء اهتزازها، لكن موجات الراديو والتليفزيون والتليفون المحمول تسمى موجات كهرومغناطيسية Electromagnetic Waves

من هذه الموجات الكهرومغناطيسية - أيضاً - موجات الضوء وموجات الأشعة السينية (X-rays) التى تستخدم فى التشخيص الطبى الإشعاعى وغيرها. والموجات الميكانيكية تتطلب وسطاً مادياً تنتشر فيه، بينما الموجات الكهرومغناطيسية لا تتطلب ضرورة وجود مثل هذا الوسط إذ يمكنها الانتشار فى الفراغ.

تعميق المعرفة



لتعميق معرفتك فى هذا الموضوع يمكنك الاستعانة ببنك المعرفة المصري من خلال الرابط المقابل:

الموجات الميكانيكية Mechanical waves

تتطلب الموجات الميكانيكية وجود:

- (١) مصدر اهتزاز أو متذبذب
- (٢) نوع من الاضطراب ينتقل من المصدر إلى الوسط.
- (٣) الوسط الذى يحمل الاهتزاز
- والمصادر المهتزة كثيرة ومتنوعة منها:
- (١) البندول البسيط المهتز ، مثل بندول الساعة (شكل ١ - ٢)
- (٢) الشوكة الرنانة المهتزة (شكل ١ - ٣)
- (٣) الوتر المهتز (شكل ١ - ٤)
- (٤) ثقل معلق فى ملف زنبركى أثناء اهتزازة وهو ما يعرف باليويو Yoyo (شكل ١ - ٥).



شكل (١ - ٤)

الوتر المهتز



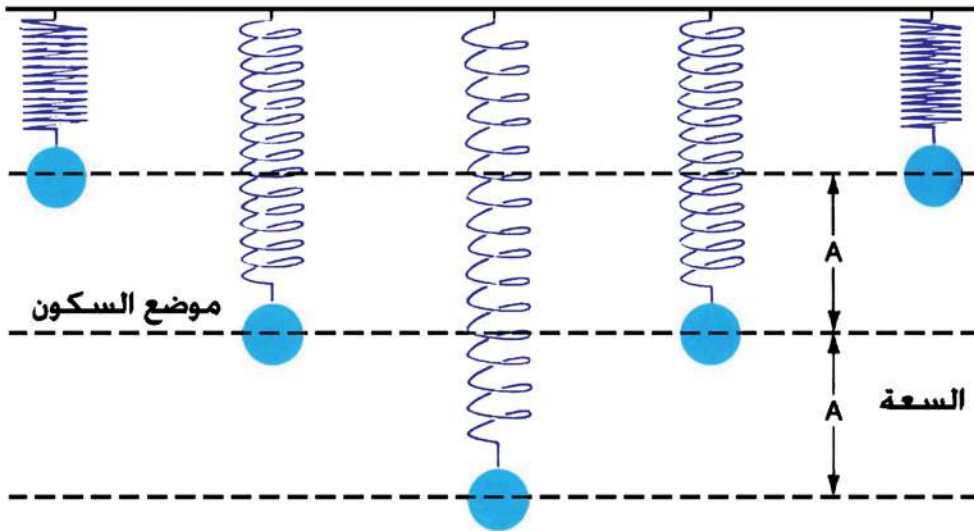
شكل (١ - ٣)

الشوكة الرنانة



شكل (١ - ٢)

بندول الساعة



شكل (١ - ٥)

ملف زنبركي (اليويو)

ويرتبط بالحركة الاهتزازية بعض الكميات الفيزيائية الضرورية مثل : الإزاحة Displacement ،
والسعة Amplitude والاهتزازة الكاملة Complete Oscillation والزمن الدوري Periodic Time ، والتردد
Frequency وفيما يلي تعريف كل منها:

١- الإزاحة Displacement (meter) هي بعد الجسم المهتز في أى لحظة عن موضع سكونه أو اتزانه الأصلي ، وهي كمية متجهة .

٢- سعة الاهتزازة Amplitude (A) (meter) هي أقصى إزاحة للجسم المهتز أو هي المسافة بين نقطتين في مسار حركته تكون سرعته في إحدهما أقصاها وفي الأخرى منعدمة.

٣- الاهتزازة الكاملة Complete Oscillation : هي الحركة التي يعملها الجسم المهتز في الفترة الزمنية التي تمضي بين مروره بنقطة واحدة في مسار حركته مرتين متتاليتين وفي اتجاه واحد ، أى يكون له نفس الطور Phase بالنسبة لنقطة بداية الحركة .

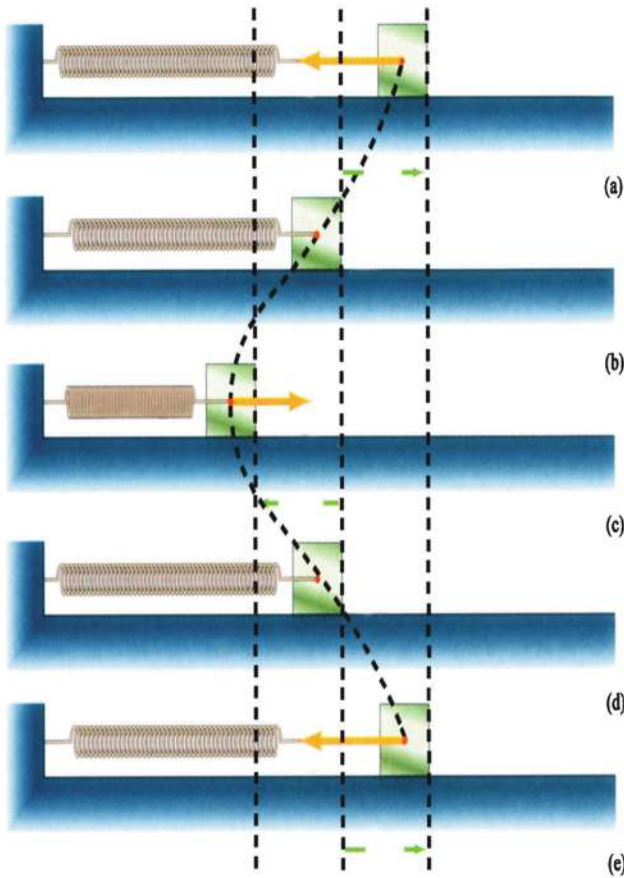
٤- التردد (Frequency (v) (Hertz or Hz) هو عدد الاهتزازات الكاملة التي يحدثها الجسم المهتز في الثانية الواحدة.

٥- الزمن الدورى Period (T) (Second) هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز فى عمل اهتزازة كاملة ، أو هو الزمن الذى يستغرقه الجسم المهتز ليمر بنقطة واحدة فى مسار حركته مرتين متتاليتين فى اتجاه واحد.

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (1-1)$$

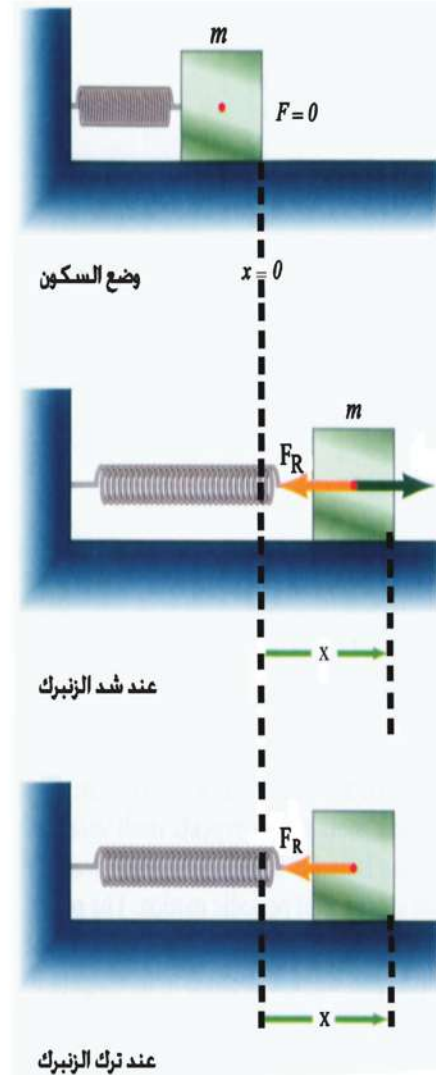
الموجات الطولية:

إذا تخيلنا ثقلاً موضوعاً فوق سطح أفقى أملس ومثبت فى أحد طرفيه زنبرك وطرفه الآخر مثبت فى حائط رأسى ، ثم جذبنا الثقل فى اتجاه محور الزنبرك وتركناه ، فإنه يتحرك حول موضع استقراره حركة ترددية نحو الزنبرك وبعيداً عنه (شكل ١ - ٦) وتسمى مثل هذه الحركة الحركة التوافقية البسيطة . فإذا رسمنا المنحنى الذى يتحرك بموجبه مركز ثقل الجسم عن وضع استقراره بالنسبة للزمن نحصل على منحنى بياني هو منحنى الجيب Sine Wave (شكل ١ - ٧) وهو ما يميز الحركة التوافقية البسيطة.



شكل (١ - ٧)

منحنى الجيب ينتج عن الحركة التوافقية البسيطة

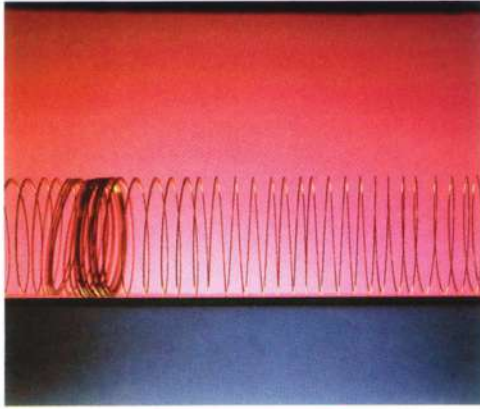


شكل (١ - ٦)

ملف زنبركى مهتز

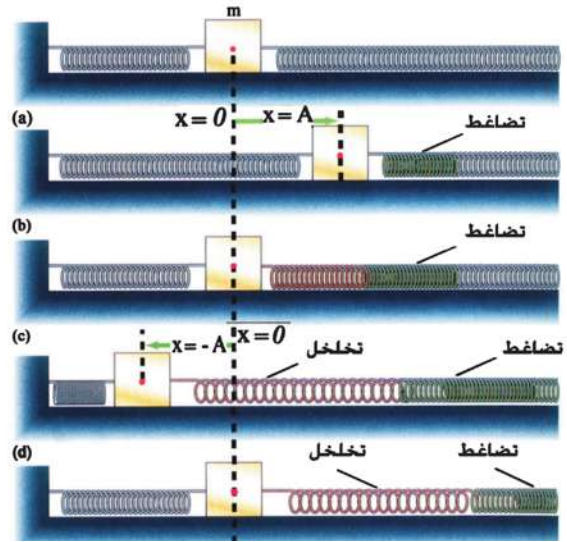
أيضا لنتصور كتلة m فوق سطح أفقى أملس، مثبتة من أحد طرفيها فى زنبرك والطرف الآخر فى زنبرك طويل مثبت عند طرفه البعيد فى حائط رأسى (شكل ١ - ٨) فإذا جذبنا الكتلة m جهة اليمين فى اتجاه محور الزنبرك إلى الموضع $x = A$ فإن جزءاً من الزنبرك على يمين A ينضغط وهذا التضاضط Compression يؤثر بقوة على الزنبرك جهة اليمين، ويعمل ذلك على ضغط حلقاته بصورة متتابة. وهكذا ينتقل التضاضط تبعاً إلى جهة اليمين ويعمل ذلك على وضع $x = -A$ فإن الزنبرك على يمين الكتلة يستطيل وتتباعد حلقاته محدثة نوعاً من الخلخلة. وهذا التخلخل Rarefaction سرعات ما ينتشر جهة اليمين عبر الزنبرك عندما تعود الكتلة m إلى وضع الاستقرار $x = \text{zero}$ مرة أخرى.

وتمثل هذه المجموعة من التضاضطات والتخلخلات موجة ناشئة عن تذبذب جسيمات الوسط (الذى يمثلها هنا الزنبرك) فى حركة توافقية بسيطة ولكن اتجاه انتشار الموجة هو نفسه اتجاه انتقال الاضطراب. وتسمى هذه الموجة بالموجة الطولية Longitudinal Wave حيث تنتقل التضاضطات والتخلخلات على طول الزنبرك (شكل ١ - ٨ ب).



شكل (١ - ٨ ب)

زنبرك مهتز مكوناً موجة طولية



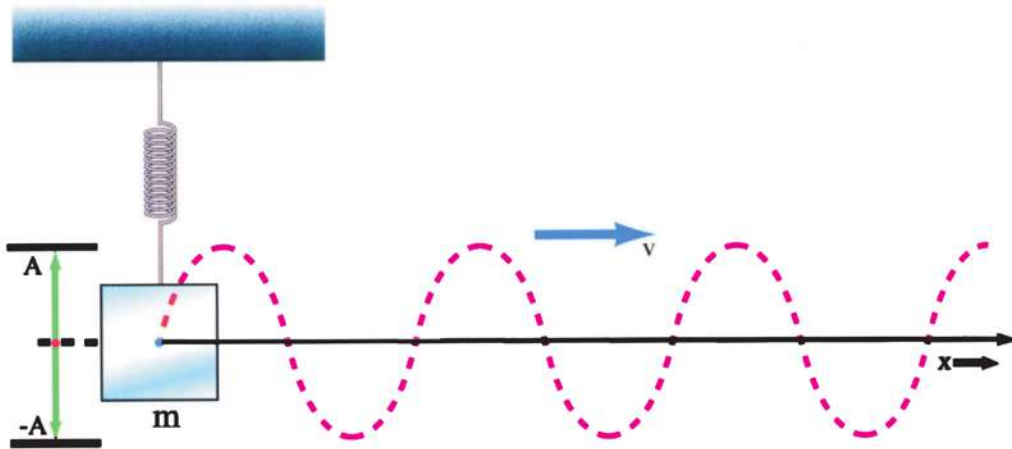
شكل (١ - ٨ أ)

التضاضطات والتخلخلات فى موجة طولية

وهكذا فإن المصدر المتذبذب الذى يصنع حركة توافقية بسيطة يمكن أن يولد موجة تنتشر بسرعة v ، حيث يقوم كل جزء من الوسط بدوره بحركة توافقية بسيطة حول موضع اتزانه ، ومثال على ذلك موجات الصوت الطولية التى تنتشر فى الهواء .

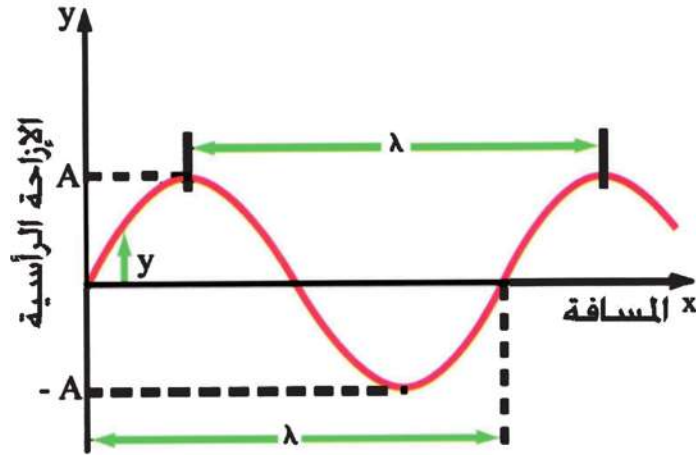
الموجات المستعرضة:

إذا تصورنا أن الكتلة m مثبتة فى زنبرك رأسى ومثبت بها طرف حبل طويل أفقى مشدود، ومثبت طرفه البعيد فى حائط رأسى ، فعندما تقوم الكتلة m ، بعمل حركة توافقية بسيطة فى الاتجاه الرأسى يقوم تبعاً لذلك طرف الحبل المثبت بها بنفس الحركة وهذا يؤدي إلى تذبذب الأجزاء التى تلى هذا الجزء من الحبل بصورة متتالية ، جزء يلى الآخر . وهكذا تنتقل الحركة على طول الحبل على هيئة موجة فى اتجاه أفقى بسرعة v ، بينما تتحرك أجزاء الحبل حركة توافقية بسيطة فى اتجاه رأسى وهذه الموجة تسمى موجة مستعرضة Transverse Wave (شكل ١ - ٩)



شكل (١ - ٩)

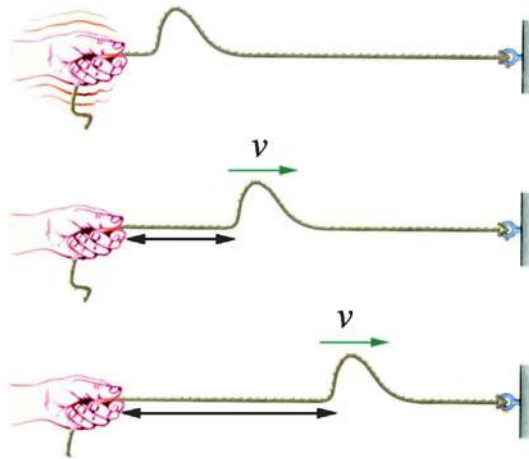
موجة مستعرضة



شكل (١ - ٩)

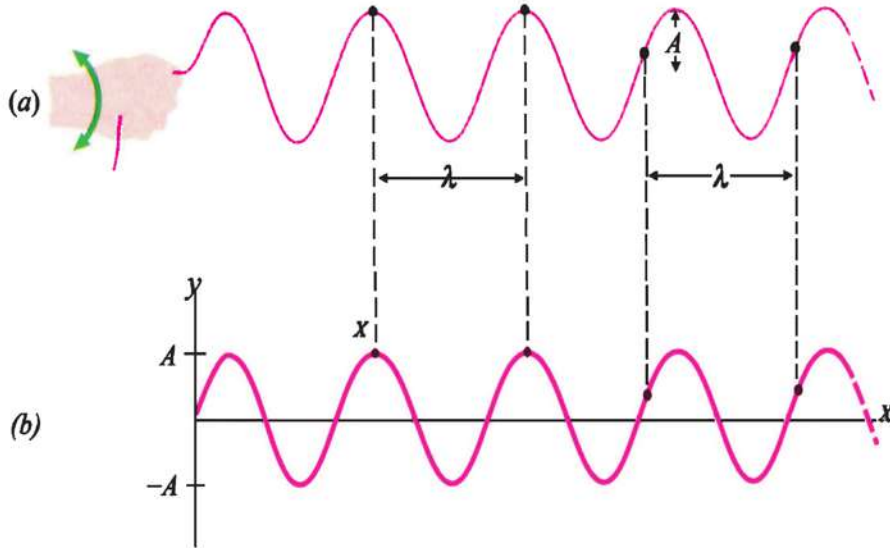
المنحنى الجيبي للإزاحة الرأسية

ويمكنك إجراء مثل هذه التجربة بنفسك باستخدام حبل طويل مشدود ، مثبت أحد طرفيه (الطرف البعيد) بحائط رأسي ، بينما طرفه الآخر مشدود بيدك ، وعندما تحرك يدك رأسياً لأعلى ولأسفل على شكل نبضة Pulse ، تلاحظ انتشار موجة على شكل نبضة ، تنتشر على طول الحبل ، وتسمى هذه الموجة موجة مرتحلة Travelling Wave (شكل ١ - ١٠)



شكل (١ - ١٠)

نبضة ناتجة عن حركة توافقية بسيطة



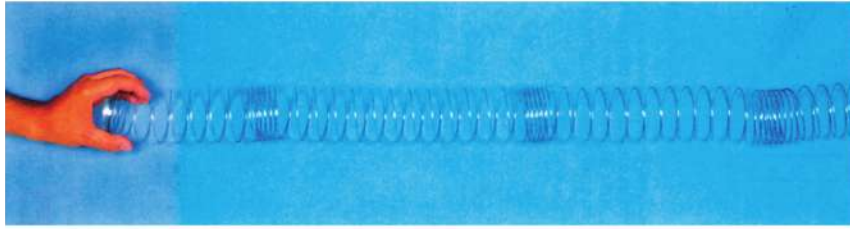
شكل (١ - ١١)

قطار من الموجات ينتشر في حبل مشدود نتيجة حركة
توافقية بسيطة عند أحد طرفيه

وتكون هذه الموجة متواصلة (قطاراً من الموجات المرحلة) ، طالما ظلت الحركة التوافقية البسيطة مستمرة (شكل ١ - ١١)

ويمكن استبدال الحبل المشدود بملف زنبركي ، حيث يمكن توليد موجة طولية (شكل ١ - ١٢) أو مستعرضة (شكل ١ - ١٣)

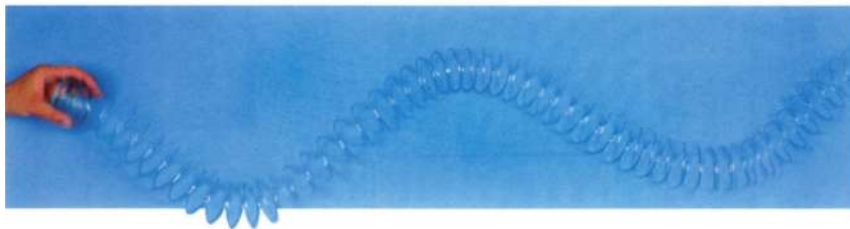
وكما نرى ، فإنه عندما يهتز المصدر تهتز جزيئات الوسط المحيط بنفس الكيفية . إذا ينتقل الاهتزاز - أولاً - من المصدر إلى جزيئات الوسط المجاورة له أو المتصلة به ، ومنها إلى جزيئات الوسط التي تليها ، وهكذا ينتشر هذا الاهتزاز أو هذا الاضطراب في الوسط على هيئة حركة موجية ، فالموجة كما سبق أن ذكرنا ما هي إلا اضطراب ينتقل وينقل الطاقة.



شكل (١ - ١٢)

ملف زنبركي مهتز على شكل

موجة طولية



شكل (١ - ١٣)

ملف زنبركي مهتز على شكل

موجة مستعرضة

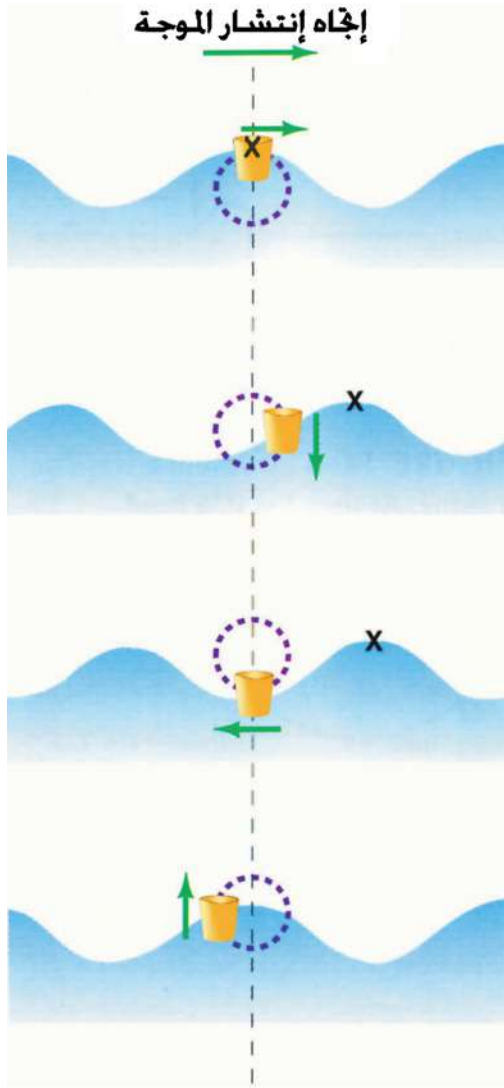
وهكذا يمكن تصنيف الموجات الميكانيكية إلى نوعين هما:

(١) الموجات المستعرضة Transverse Waves

(٢) الموجات الطولية Longitudinal Waves

فالموجات المستعرضة Transverse Waves هي تلك الموجات التي تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها في اتجاه عمودي على اتجاه انتشار الحركة الموجية .

والموجات الطولية Longitudinal Waves هي تلك الموجات التي تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها على نفس خط انتشار الحركة الموجية .



شكل (١ - ١٤)

قطعة فلين تطفو أعلى الموجة (قمة) وأسفل

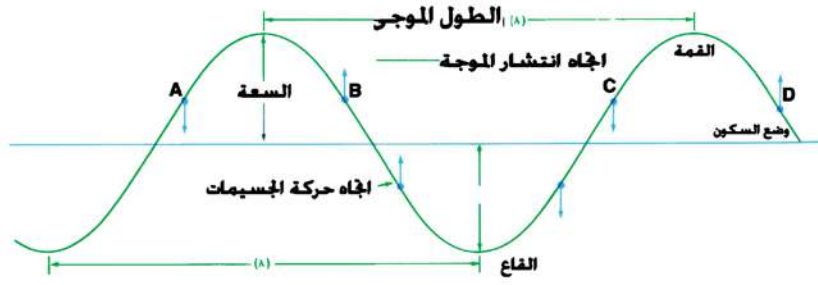
الموجة (قاع)

وبديهي أن الشغل الذى يبذله المصدر المهتز على الوتر ينتقل علي هيئة طاقة وضع تتمثل في شد الوتر، وطاقة حركة تتمثل في اهتزاز الوتر.

وبالرجوع إلى الشكل (١ - ١٤) تسمى النقط التى تمثل النهايات العظمى للإزاحة في الاتجاه الموجب باسم القمم (مفردها قمة Crest) بينما تسمى النقط التى تمثل النهايات العظمى للإزاحة في الاتجاه السالب باسم القيعان (مفردها قاع Trough) وبملاحظة أى جزء من أجزاء الوتر أثناء اهتزازة ، نجد أنه يحدث قمة وقاعاً متتاليين خلال اهتزازة كاملة، أى أن حركة الموجة المستعرضة تشتمل على قمة وقاع متتاليين خلال اهتزازة كاملة.

الطول الموجي (Wavelength (λ) meter) والتردد (Frequency (ν) Hertz)

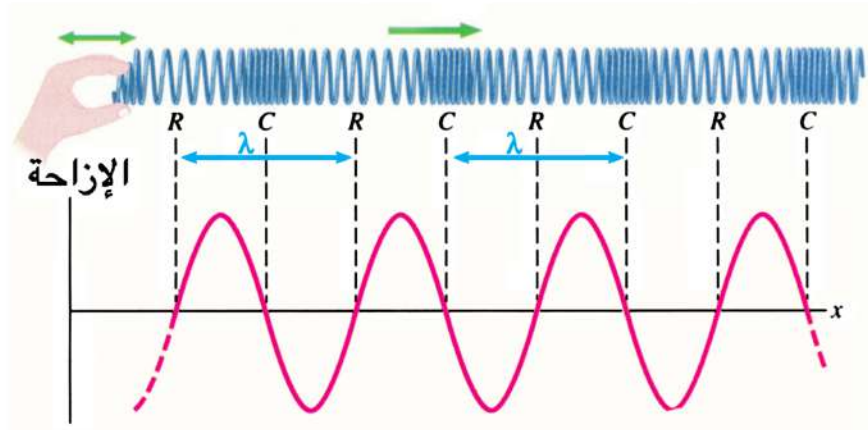
يعبر عن المسافة بين أى قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين في الموجة المستعرضة بالطول الموجي لها (شكل ١ - ١٥) كما يعبر عن المسافة بين مركزى أى تضاعطين متتاليين أو مركزى أى تخلخين متتاليين في الموجة الطولية بالطول الموجي لها (شكل ١ - ١٦)



شكل (١ - ١٥)

تعريف الطول الموجي في موجة مستعرضة

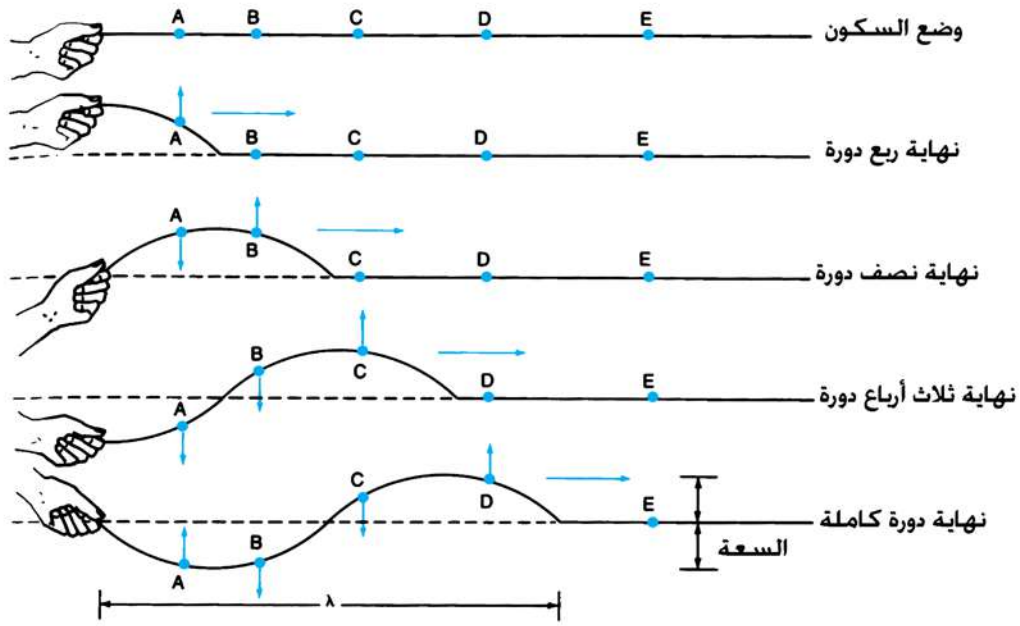
وعلى هذا ، يمكن أن يُمثّل الطول الموجي بإحدى المسافتين (AC) ، (BD) كما في الشكل (١ - ١٥) ويلاحظ أن كل نقطتين متتاليتين (A ، C) ، (B ، D) تتحركان في وقت واحد ، بكيفية واحدة ، وفي اتجاه واحد ، يكون لهما نفس الطور Phase (أى لهما نفس الإزاحة ونفس الاتجاه)
 ∴ الطول الموجي : هو المسافة بين أى نقطتين متتاليتين لهما نفس الطور (شكل ١ - ١٦)
 أو هو المسافة التي تتحركها الموجة خلال زمن دورى واحد (شكل ١ - ١٨)



شكل (١ - ١٦)

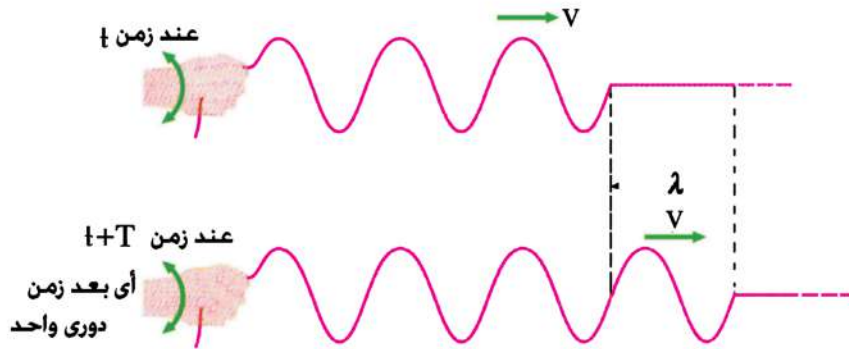
تعريف الطول الموجي في موجة طولية

ويطلق على عدد الموجات التي تمر بنقطة معينة في مسار الحركة الموجية في زمن قدره واحد ثانية اسم التردد.



شكل (١ - ١٧)

المسافة التي تقطعها الموجة خلال زمن دورة واحدة هي الطول الموجي



شكل (١ - ١٨)

تعريف الطول الموجي في موجة طولية

العلاقة بين التردد والطول الموجي وسرعة انتشار الموجات :

إذا انتقلت موجة بسرعة v من مكان إلى آخر يبعد مسافة تعادل الطول الموجي λ فإن الموجة تستغرق زمناً قدره الزمن الدوري T

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

ونظراً لأن

$$v = \frac{1}{T}$$

أو

$$T = \frac{1}{v}$$

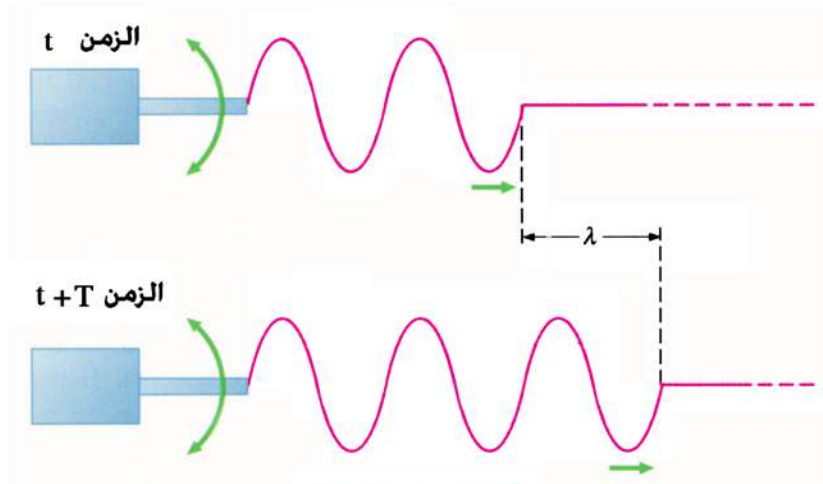
فإن

$$v = \lambda v \quad (1-2)$$

وهذه علاقة عامة لانتشار جميع أنواع الموجات سواء كانت قطاراً من موجات أو نبضة واحدة

(شكل ١ - ١٩)

أى أنه في زمن دورى T تنتقل الموجة مسافة تعادل الطول الموجي والتردد هو عدد الاهتزازات فى الثانية الواحدة . أو هو عدد الأطوال الموجية التى تقطعها الموجة المنتشرة فى اتجاه معين فى ثانية واحدة .



شكل (١ - ١٩)

قطار من الموجات ينتشر بسرعة v

أمثلة

(١) إذا كان طول الموجة الصوتية التي يصدرها قطار 0.6m وتردد النغمة الصادرة 550Hz فما سرعة

انتشار الموجات الصوتية في الهواء؟

الحل:

$$v = \lambda \nu$$

$$v = 0.6 \times 550 = 330 \text{ m/s}$$

(٢) إذا كان عدد موجات الماء التي تمر بنقطة معينة في زمن قدره واحد ثانية هو 12 موجة وكان طول

الموجة الواحدة 0.1m إحسب سرعة إنتشار الموجات

الحل

$$v = \lambda \nu$$

$$v = 12 \times 0.1 = 1.2 \text{ m/s}$$

(٣) تنتشر موجات الضوء في الفضاء بسرعة تساوى 300 ألف كيلو متر في الثانية ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$) فإذا

كان طول موجة الضوء 5000 Å فما تردد هذا الضوء؟

$$1 \text{ Angstrom}(\text{\AA}) = 10^{-10} \text{ m}$$

الحل:

$$v = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda = 5 \times 10^3 \times 10^{-10} = 5 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$c = \lambda \nu$$

$$3 \times 10^8 = 5 \times 10^{-7} \times \nu$$

$$\nu = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^{-7}} = 6 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

تعميق المعرفة



لتعميق معرفتك في هذا الموضوع يمكنك الاستعانة
ببنك المعرفة المصري من خلال الروابط المقابلة:

تلخيص

- الموجة : هي اضطراب ينتقل وينقل الطاقة.
 - الإزاحة : هي بعد الجسم في أى لحظة عن موضع سكونه (أو اتزانها) الأصلي.
 - سعة الاهتزازة A: هي أقصى إزاحة للجسم المهتز عن موضع سكونه أو هي المسافة بين نقطتين في مسار حركة الجسم المهتز تكون سرعته في إحداها أقصى وأقصاها وفي الأخرى منعدمة.
 - الاهتزازة الكاملة: هي الحركة التي يعملها الجسم المهتز (مثل البندول البسيط) في الفترة الزمنية التي تمضي بين مروره بنقطة معينة في مسار حركته مرتين متتاليتين في اتجاه واحد.
 - التردد ν : هو عدد الاهتزازات الكاملة التي يحدثها الجسم المهتز في الثانية الواحدة.
- $$\text{التردد} = \frac{1}{\text{الزمن الدوري}}$$
- أو هو عدد الموجات التي تمر بنقطة معينة في مسار الحركة الموجية في زمن قدرة واحد ثانية.
 - الزمن الدوري T: هو الزمن الذي يستغرقه الجسم المهتز في عمل اهتزازة كاملة، أو هو الزمن الذي يستغرقه الجسم المهتز (مثل البندول البسيط) ليمر بنقطة معينة في مسار حركته مرتين متتاليتين في اتجاه واحد .
 - الموجات الميكانيكية نوعان:
 - (١) موجات مستعرضة. (٢) موجات طولية.
 - الموجات المستعرضة : هي تلك الموجات التي تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها ، في اتجاه عمودى على اتجاه انتشار الحركة الموجية.
 - الموجات الطولية : هي تلك الموجات التي تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها ، على نفس خط انتشار الحركة الموجية.
 - الموجات المستعرضة تتكون من قمم وقيعان متتالية.
 - الموجات الطولية تتكون من تضاعطات وتخلخلات متتالية.
 - الطول الموجي : هو المسافة بين أى نقطتين متتاليتين في اتجاه انتشار الموجة لهما نفس الطور (نفس الإزاحة ، ونفس الاتجاه)
 - العلاقة بين التردد والطول الموجي وسرعة انتشار الموجات هي : $v = \lambda \times \nu$

أسئلة وتمارين

أولاً : عرف كل من :

١ - الموجة ٢ - الموجة المستعرضة

٣ - الموجة الطولية ٤ - طول الموجة

ثانياً : أكمل كل من العبارات التالية :

(أ) الإزاحة هي

(ب) سعة الاهتزازة هي

(ج) الاهتزازة الكاملة هي

(د) الزمن الدوري هو

(هـ) التردد هو

ثالثاً : أسئلة المقال

استنتج العلاقة بين التردد والطول الموجي وسرعة انتشار الموجات ؟

رابعاً : ضع علامة (✓) أمام الاختيار الصحيح فيما يلي :

١ - العلاقة بين سرعة انتشار الموجات V في وسط مادي وترددها ν وطولها الموجي هي :

$$v = \lambda \times \nu \quad (أ) \quad \nu = \frac{v}{\lambda} \quad (ب)$$

$$\nu = \frac{\lambda}{v} \quad (ج) \quad (د) \text{ لا توجد إجابة صحيحة}$$

٢ - الموجات المستعرضة هي موجات تتكون من :

(أ) تضاعطات وتخلخلات.

(ب) قمم وقيعان.

(ج) قمم وقيعان وتتحرك فيها جزيئات الوسط لمسافات قصيرة حول مواضع سكونها في اتجاه

عمودي على اتجاه انتشارها.

(د) تضاعطات وتخلخلات وتتحرك فيها جزيئات الوسط لمسافات قصيرة حول مواضع سكونها على

نفس خط إنتشار الحركة الموجية .

٣ - إذ كان طول الموجة الصوتية التي يصدرها مصدر صوتي هو 0.5m وتردد النغمة 666Hz تكون سرعة انتشار الصوت في الهواء.

(أ) 338m/s (ب) 333m/s

(ج) 330m/s (د) 346m/s

٤ - إذا كانت سرعة الصوت في الهواء هي 340m/s تنتشر فيه نغمة ترددها 225Hz يكون طولها الموجي

مقدراً بالمتر هو :

(أ) $\frac{4}{3}$ (ب) $\frac{3}{4}$

(ج) 20 (د) $\frac{3}{2}$

٥ - ضوء طوله الموجي 6000\AA ($1\text{\AA}=10^{-10}\text{m}$) ينتشر في الفضاء بسرعة $300 \times 10^3 \text{ km/s}$

يكون تردده هو :

(أ) $4 \times 10^{10} \text{ Hz}$ (ب) $4 \times 10^{14} \text{ Hz}$

(ج) $5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ (د) $5 \times 10^{12} \text{ Hz}$

٦ - موجتان ترددهما 512 Hz، 256Hz تنتشران في وسط معين ، تكون النسبة بين طوليهما الموجيين

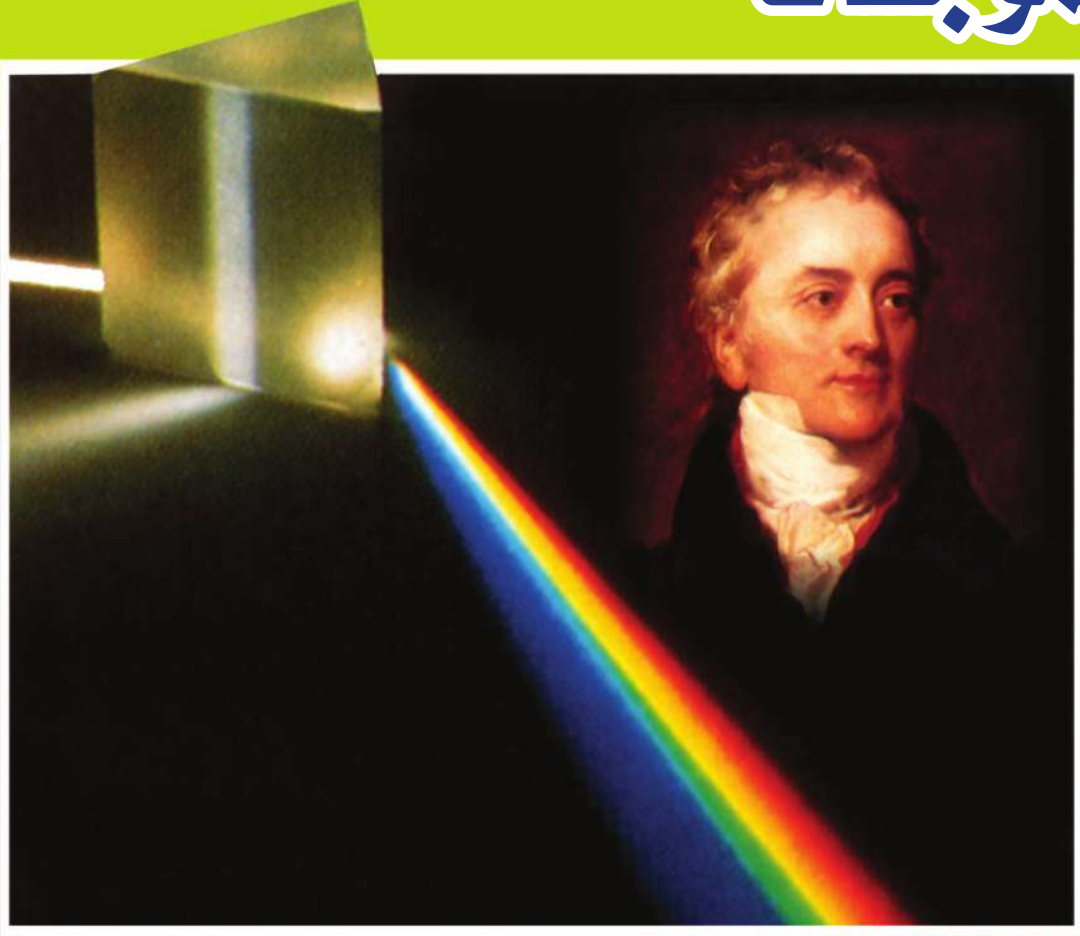
هي :

(أ) $\frac{2}{1}$ (ب) $\frac{1}{2}$

(ج) $\frac{3}{1}$ (د) $\frac{1}{3}$

الموجات

الوحدة الأولى



الفصل الثاني: الضوء

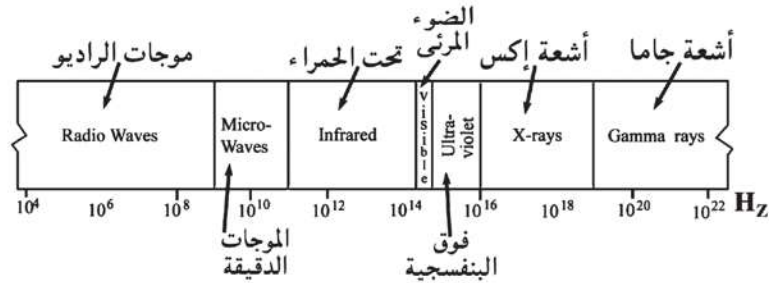
الفصل الثاني

الضوء

مقدمة :

الضوء جزء من مدى واسع من الموجات تسمى الموجات الكهرومغناطيسية تنتشر جميعها بسرعة ثابتة في الفراغ قدرها $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ، وتتباين فيما بينها في ترددها، معطيه ما يسمى الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic Spectrum شكل (١-٢) .

ويشمل على سبيل المثال موجات الراديو Radio Waves ، وموجات الأشعة تحت الحمراء Infrared ، وموجات الضوء المنظور Visible Light ، وموجات الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet ، وموجات الأشعة السينية X-rays ، وموجات أشعة جاما Gamma(γ)-rays وجميعها لها خواص مشتركة.



شكل (١ - ٢)

الطيف الكهرومغناطيسي

ويبين الرابط المقابل الخواص المشتركة للموجات الكهرومغناطيسية

فهي تنتشر أو تنتقل في الفضاء بنفس السرعة، وجميعها موجات مستعرضة. وإن كانت تختلف في تردداتها وأطوالها الموجية.

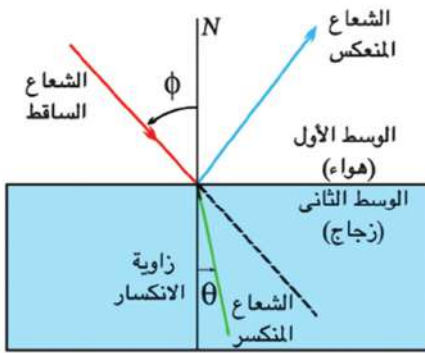


انعكاس الضوء وانكساره :

ينتشر الضوء في جميع الإتجاهات في خطوط مستقيمة ما لم يصادفه وسط عائق. فإذا صادفه عائق فإنه يعاني انعكاساً أو انكساراً أو امتصاصاً بنسب مختلفة حسب طبيعة الوسط العائق.

عند سقوط شعاع ضوئي على سطح فاصل بين وسطين مختلفين في الكثافة الضوئية فإن جزءاً من الضوء ينعكس، والجزء الآخر ينكسر مع إهمال الجزء الممتص.

ونلاحظ من الشكل المقابل ما يلي :



شكل (٢ - ٢)

انعكاس وانكسار الضوء

يقع كل من الشعاع الساقط والمنعكس والمنكسر والعمود المقام على السطح الفاصل من نقطة السقوط في مستوى واحد عمودي على السطح الفاصل.

• في حالة الإنعكاس :

زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

• في حالة الإنكسار :

النسبة بين جيب زاوية السقوط في الوسط الأول إلى

جيب زاوية الإنكسار في الوسط الثاني كالنسبة بين سرعة

الضوء في الوسط الأول إلى سرعة الضوء في الوسط الثاني ،

وهي نسبة ثابتة لهذين الوسطين ويطلق عليها اسم معامل الإنكسار النسبي من الوسط الأول إلى الوسط

الثاني . ويرمز له بالرمز n_2

أي أن

$$\frac{\sin \phi}{\sin \theta} = \frac{v_1}{v_2} = n_2 \quad (2-1)$$

نتائج هامة

(١) تعد سرعة الضوء في الفضاء أو الفراغ من الثوابت الكونية وتساوي 3×10^8 m/s ، وسرعة

الضوء في الفضاء أو الفراغ أكبر من سرعته في أي وسط مادي. وإذا رمزنا لسرعة الضوء في الفراغ

بالرمز c ولسرعة الضوء في الوسط المادي بالرمز v فإن النسبة $\frac{c}{v}$ تسمى معامل الانكسار المطلق لهذا

الوسط ويرمز له بالرمز n وقيمه أكبر من الواحد الصحيح؟

$$n = \frac{c}{v} \quad (2-2)$$

ومعاملات انكسار بعض المواد مدرجة في الجدول التالي:

معامل الانكسار له n	الوسط المادى
1.00293	الهواء
1.333000	الماء
1.501000	البينزين
1.461000	رابع كلوريد الكربون
1.361000	الكحول الإيثيلي
1.52000	الزجاج التاجى
1.660000	الزجاج الصخرى
1.4850000	الكوارتز
2.419000	الماس

(٢) من العلاقة (2-2) يتضح أن:

$$v = \frac{c}{n}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

أي أن

ومنها يكون

$$n_2 = \frac{n_1 v_1}{v_2} \quad (2-3)$$

وبالتعويض من (2-3) في (2-1)

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \phi}{\sin \theta}$$

أي أن

$$n_1 \sin \phi = n_2 \sin \theta \quad (2-4)$$

وهذا ما يعرف بقانون سنل Snell's law.

أى أن حاصل ضرب معامل الانكسار المطلق لوسط السقوط في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل

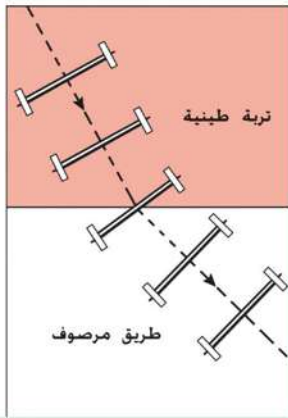
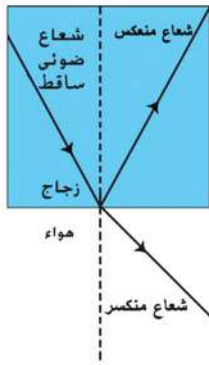
ضرب معامل الانكسار المطلق لوسط الانكسار في جيب زاوية الانكسار.

٣- يمكن استخدام الانكسار في تحليل حزمة ضوئية إلى مركباتها ذات الأطوال الموجية المختلفة حيث يختلف معامل الانكسار المطلق تبعاً للطول الموجي، ولذلك يتشتت الضوء الأبيض إلى مكوناته، ويمكن ملاحظة ذلك في فقاعات الصابون.

معلومة إثرائية

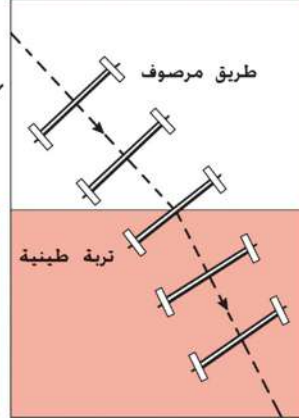
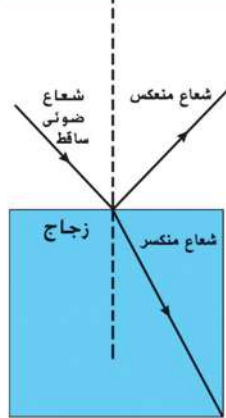
تفسير الانكسار

إذا سقط الضوء من وسط أقل كثافة إلى وسط أعلى كثافة اقترب الشعاع المنكسر من العمود ويمائل ذلك عربة تدخل إحدى عجلاتها في منطقة طينية تبطئها، بينما العجلة الأخرى أسرع، فيحدث انحناء في المسار (شكل ٢-٣). والعكس حين يحدث انكسار من المنطقة أعلي في الكثافة إلى منطقة أقل في الكثافة فيكون الشعاع المنكسر بعيداً عن العمود (شكل ٢-٤).



شكل (٢ - ٤)

إنكسار من وسط أكبر كثافة إلى وسط أقل كثافة



شكل (٢ - ٣)

إنكسار من وسط أقل كثافة إلى وسط أكبر كثافة

أمثلة

١- إذا سقط شعاع ضوئي على سطح لوح زجاجي معامل انكساره 1.5 بزاوية سقوط 30° فاحسب

زاوية الإنكسار.

الحل:

$$\therefore n = \frac{\sin \phi}{\sin \theta}$$

$$\therefore 1.5 = \frac{\sin 30}{\sin \theta}$$

$$\sin \theta = \frac{0.5}{1.5} = 0.333$$

$$\therefore \theta = 19^\circ 28' \quad \therefore \text{ومنها}$$

٢- إذا كان معامل الانكسار المطلق للماء $\frac{4}{3}$ ومعامل الإنكسار المطلق للزجاج $\frac{3}{2}$

فأوجد:

أ- معامل الانكسار النسبي من الماء إلى الزجاج.

ب- معامل الانكسار النسبي من الزجاج إلى الماء.

الحل:

أ- معامل الانكسار النسبي من الماء إلى الزجاج

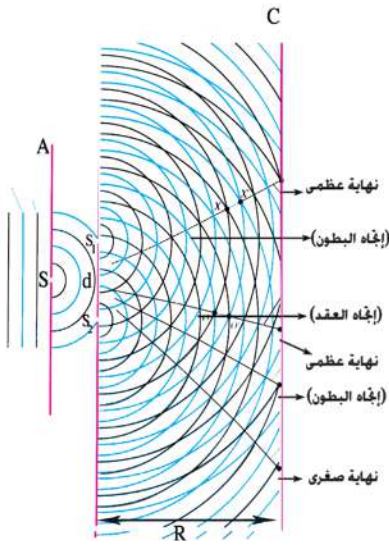
$${}_1n_2 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{3}{2}}{\frac{4}{3}} = \frac{9}{8}$$

ب- معامل الانكسار النسبي من الزجاج إلى الماء.

$${}_2n_1 = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{4}{3}}{\frac{3}{2}} = \frac{8}{9}$$

ومن هذا المثال نتبين أن: ${}_1n_2 = \frac{1}{{}_2n_1}$ ، وهي نتيجة هامة.

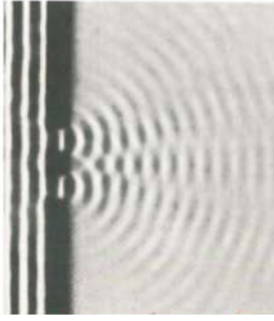
تداخل الضوء Light Interference



شكل (٢-٥) ب

رسم تخطيطي لتجربة

يونيغ



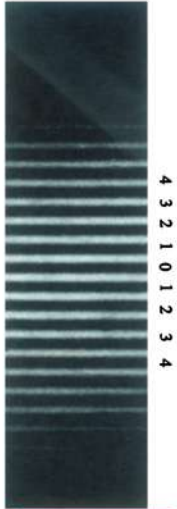
شكل (٢-٥) أ

ظاهرة التداخل في

تجربة يونيغ

أجرى توماس يونج Young تجربة لدراسة ظاهرة التداخل في الضوء فيما يعرف باسم تجربة الشق المزدوج Double Slit Experiment، وهي موضحة بالشكل (٢-٥). في هذا الشكل مصدر ضوئي أحادي اللون Monochromatic Source أي أن للطول الموجي λ قيمة واحدة ثابتة، يقع على بعد مناسب من حاجز به فتحة مستطيلة ضيقة s تمر خلالها موجات أسطوانية نحو حاجز به فتحتان مستطيلتان ضيقتان S_1, S_2 ، تعملان كشق مزدوج. تقع S_1, S_2 على نفس صدر الموجة

الأسطوانية. لذلك يكون للموجات التي تصلها نفس الطور. وتسلك الفتحتان المستطيلتان سلوك المصادر المترابطة، وهي تلك المصادر التي تكون موجاتها متساوية التردد والسعة ولها نفس الطور.



شكل (٢-٦)

هدب التداخل

وعلى الحائل C تتراكب موجات الحركتين الموجيتين القادمتين إليه من S_1, S_2 ، ونتيجة لهذا التراكب تظهر مجموعة التداخل التي تبدو كمجموعة من المناطق المستقيمة المتوازية، وهي عبارة عن مناطق مضيئة تتخللها أخرى مظلمة تعرف باسم هدب التداخل Interference Fringes، كما في الشكل (٢-٦). والمسافة بين أي هدبتين متتاليتين Δy من نفس النوع تتعين من العلاقة:

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d} \quad (2-5)$$

حيث λ طول موجة الضوء الأحادي اللون المستخدم، R المسافة بين الشق المزدوج والحائل المعد لاستقبال الهدب، و d المسافة بين S_1, S_2 . لذلك تستخدم هذه التجربة لتعيين الطول الموجي لأي ضوء أحادي اللون.

مثال:

١- في تجربة الشق المزدوج كانت المسافة بين الفتحتين المستطيلتين الضيقتين 0.00015 m وكانت المسافة بين الشق والحائل المعد لاستقبال الهدب 0.75 m وكانت المسافة بين هدبتين مضيئتين هي 0.003 m ، احسب الطول الموجي للضوء الأحادي اللون المستخدم.

الحل:

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d}$$

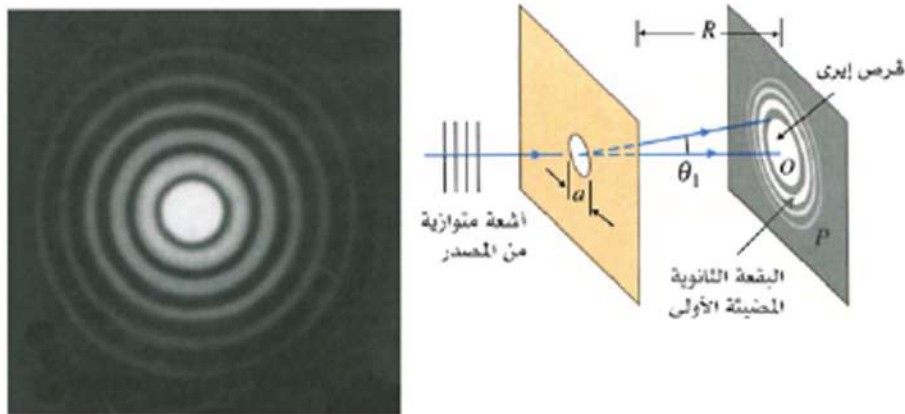
$$0.003 = \frac{0.75 \times \lambda}{0.00015}$$

$$\therefore \lambda = \frac{0.00015 \times 0.003}{0.75} = 0.6 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\lambda = 10^{10} \times 0.6 \times 10^{-6} = 6000 \text{ \AA}$$

حيود الضوء: Light Diffraction

عندما يسقط ضوء أحادي اللون على فتحة دائرية في حاجز، فإننا نتوقع تبعاً لمعلوماتنا عن انتشار الضوء في خطوط مستقيمة أن تتكون على الحائل الموضح في الشكل بقعة دائرية مضيئة محددة. لكن دراسة البقعة المضيئة عن قرب وتسمى قرص إيرى Airy Disk - بعبارة أخرى - دراسة توزيع الإضاءة على الحائل - تظهر وجود هدب مضيئة وأخرى مظلمة كما في الشكل (٧-٢).

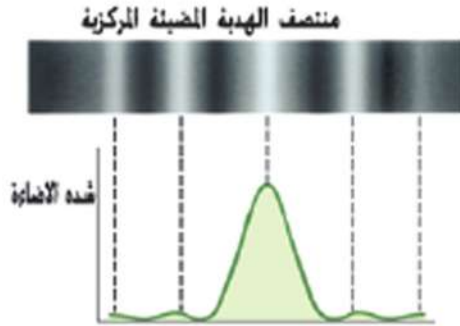


شكل (٧ - ٢)

الحيود على فتحة دائرية

ويوضح الشكل (٨-٢) الحيود علي فتحة مستطيلة بينما يوضح الشكل (٩-٢) نماذج مختلفة للحيود علي حدود فاصلة للمادة. وبصفة عامة يظهر الحيود بوضوح إذا كان الطول الموجي مقارباً لأبعاد فتحة العائق والعكس صحيح.

وجدير بالذكر انه لا يوجد فرق جوهري بين نموذجي التداخل والحيود ، فكل منهما ينشأ من تراكم موجات.



شكل (٩ - ٢)

توزيع شدة الإضاءة على الحائل مع

تتابع الهدب الناشئة من الحيود على

فتحة مستطيلة



شكل (٨ - ٢)

الحيود على فتحة مستطيلة

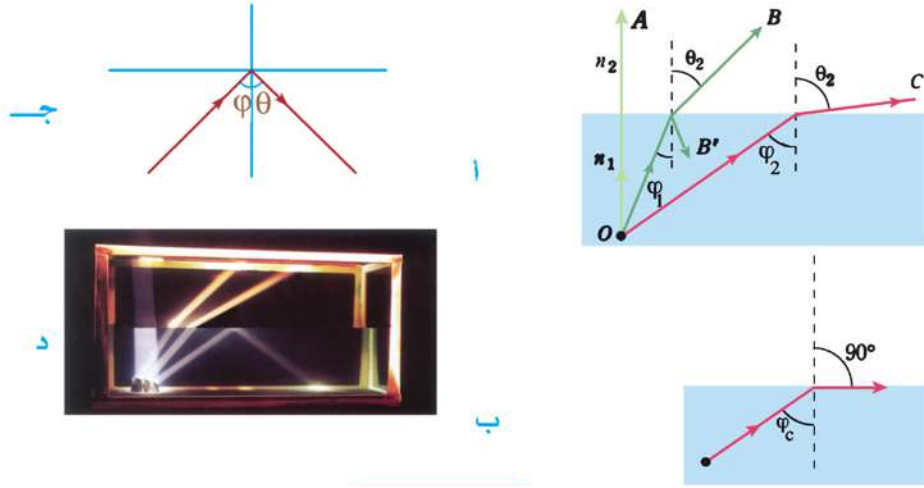
الضوء حركة موجية:

يتضح لنا من الفقرات السابقة أن الضوء:

- ١- ينتشر في خطوط مستقيمة.
- ٢- ينعكس وفقاً لقانوني الانعكاس.
- ٣- ينكسر وفقاً لقانوني الانكسار.
- ٤- يتداخل الضوء وينشأ عن التداخل تقوية في شدة الضوء في بعض المواضع (هدب مضيئة) وانعدام في شدة الضوء في بعض المواضع الأخرى (هدب مظلمة).
- ٥- يحيد الضوء عن مساره إذا اصطدم بعائق.
- وهذه هي نفس الخصائص العامة للموجات، وبالتالي يكون الضوء حركة موجية.

الانعكاس الكلي والزوايا الحرجة:

عندما ينتقل شعاع ضوئي من وسط أكبر كثافة ضوئية كالماء (أو الزجاج) إلى وسط أقل كثافة ضوئية كالهواء، فإن الشعاع المنكسر يبتعد عن العمود كما في الشكل التالي (٢-١٠). ومع زيادة قيمة زاوية السقوط في الوسط الأكبر كثافة ضوئية (معامل انكسار مطلق كبير) تزداد قيمة زاوية الانكسار في الوسط الأقل كثافة ضوئية (معامل انكسار مطلق صغير).



شكل (٢-١٠)

سقوط ضوء من وسط أكبر كثافة ضوئية إلى وسط أقل كثافة ضوئية

وعندما تبلغ زاوية السقوط في الوسط الأكبر كثافة ضوئية قيمة معينة ϕ_c عندها تبلغ زاوية الانكسار في الوسط الأقل كثافة أكبر قيمة لها وتساوي 90° . وعندها يخرج الشعاع المنكسر مماساً للسطح الفاصل. وتسمى زاوية السقوط في هذه الحالة الزاوية الحرجة ϕ_c وهي زاوية سقوط في الوسط الأكبر كثافة ضوئية تقابلها زاوية انكسار في الوسط الأقل كثافة ضوئية تساوي 90° .

بتطبيق قانون سنل في هذه الحالة:

$$n_1 \sin \phi_c = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (2-6)$$

ومنها

حيث n_1 معامل انكسار الوسط الأكبر كثافة ضوئية ، n_2 معامل انكسار الوسط الأقل كثافة ضوئية ، ϕ_c الزاوية الحرجة.

وعندما يكون الوسط الأقل كثافة ضوئية هو الهواء يكون $n_2 = 1$ ، وعندئذ تكتب العلاقة السابقة على

الصورة :

$$n_1 \sin \phi_c = 1$$

$$n_1 = \frac{1}{\sin \phi_c} \quad (2-7)$$

حيث n_1 معامل الانكسار المطلق للوسط الأكبر كثافة ضوئية

وبذلك يمكن حساب معامل انكسار الوسط بمعرفة الزاوية الحرجة له .

وإذا زادت قيمة زاوية السقوط في الوسط الأكبر كثافة ضوئية عن الزاوية الحرجة فإن الشعاع

الضوئي لا ينفذ إلى الوسط الثاني الأقل كثافة ضوئية، وإنما ينعكس انعكاساً كلياً في نفس الوسط، على

خلاف أى زاوية سقوط أخرى أقل من الزاوية الحرجة ، حيث ينفذ جزء من الضوء وينعكس جزء آخر كما

في الصورة الموضحة (شكل ٢ - ١٠ ج، د)

امثلة:

١ - إذا كان معامل انكسار الزجاج والماء هما 1.6 و 1.33 علي الترتيب، فاحسب الزاوية الحرجة لكل

منهما .

الحل

$$n_1 = \frac{1}{\sin \phi_c} \quad \text{في حالة الزجاج:}$$

$$\sin \phi_c = \frac{1}{n_1} = \frac{1}{1.6} = 0.625$$

$$\phi_c = 38^\circ 41' \quad \text{ومنها:}$$

في حالة الماء:

$$\sin \phi_c = \frac{1}{n_1} = \frac{1}{1.33} = 0.7518$$

$$\phi_c = 48^\circ 45' \quad \text{ومنها}$$

٢ - مستخدماً البيانات المعطاة في المثال السابق احسب الزاوية الحرجة للضوء الساقط من الزجاج

إلى الماء

الحل

$$n_2 \sin 90^\circ = n_1 \sin \phi_c \quad \text{باستخدام قانون سنل}$$

$$1.33 \times 1 = 1.6 \sin \phi_c$$

$$\sin \phi_c = \frac{1 \times 1.33}{1.6} = 0.8313$$

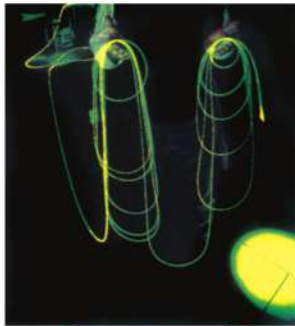
$$\phi_c = 56^\circ 14'$$

ومنها

بعض تطبيقات الانعكاس الكلي

أولاً: الألياف الضوئية (البصرية) Fiber optics (Optical fibers)

ويوضح الشكل (١١-٢) ليفة ضوئية - وهي قضيب مصمت رفيع من مادة شفافة - إذا دخل الضوء



شكل (١١ - ٢)

الألياف تحافظ على

الشعاع رغم انثناء الألياف

من أحد طرفيها فإنه يعاني إنعكاسات كلية متتالية (زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة) حتى يخرج من طرفها الآخر شكل (١٢-٢).

ويوضح الشكل (١٣-٢) حزمة مكونة من آلاف الألياف معاً تتكون منها حزمة مرنة قابلة للانثناء، بحيث تصل إلى أماكن يصعب الوصول إليها ويمكن استخدامها في نقل الضوء بدون فقد يذكر.

وتلقي الألياف الضوئية الآن اهتماماً كبيراً.

فالليفة الضوئية أو البصرية تستخدم الآن في الفحوص الطبية

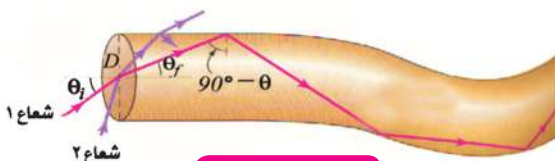
مثل المناظير الطبية Endoscopes (شكل ١٣-٢) والتي تستخدم في

التشخيص كما تستخدم في إجراء العمليات الجراحية

باستخدام شعاع الليزر كما يستخدم الليزر في الإتصالات

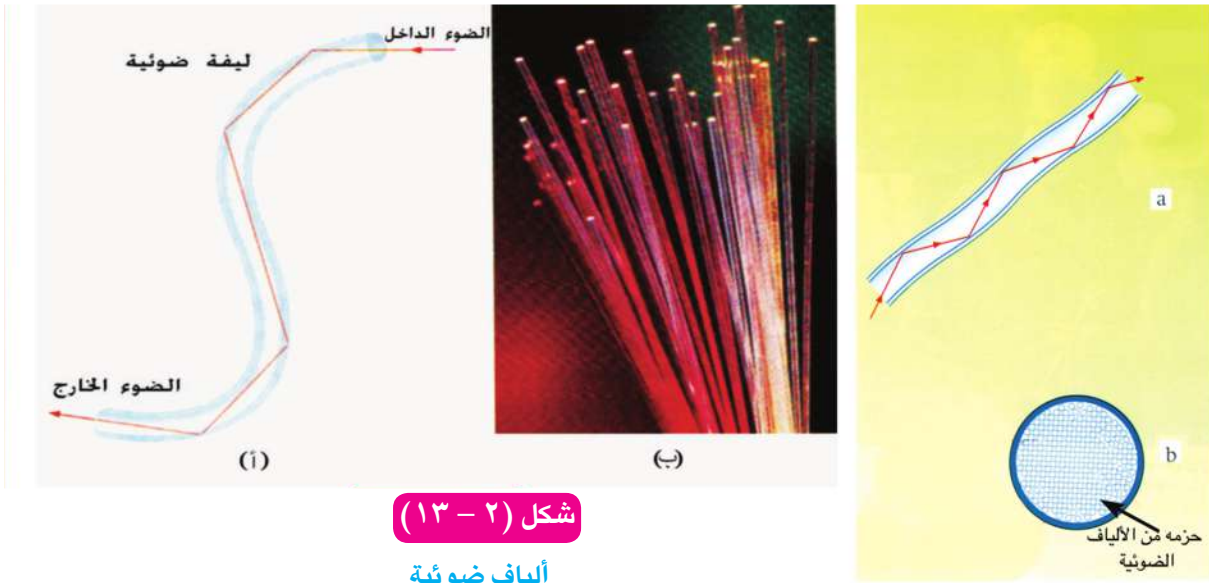
عن طريق تحويل الإشارات الكهربائية إلى ومضات ضوئية

في كابل من الألياف الضوئية.



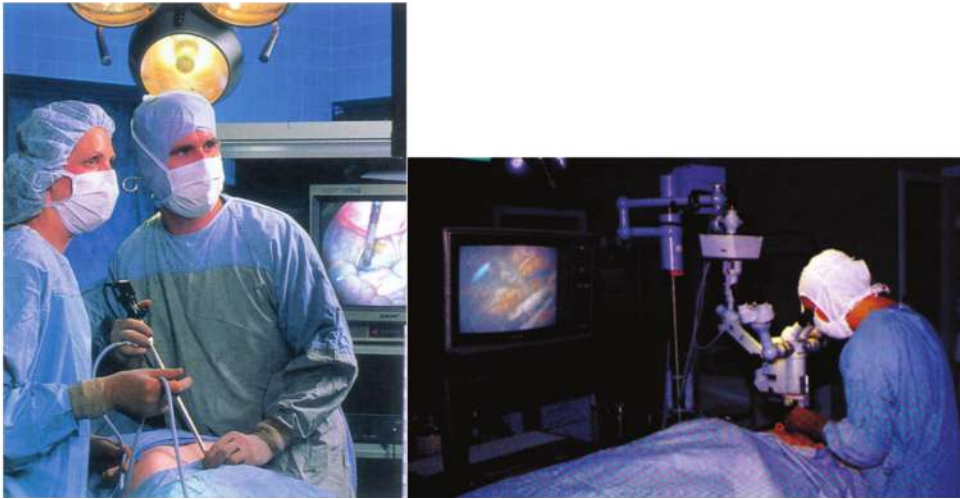
شكل (١٢ - ٢)

ألياف ضوئية



شكل (٢ - ١٣)

ألياف ضوئية



شكل (٢ - ١٣)

إجراء عمليات جراحية باستخدام المناظير الطبية

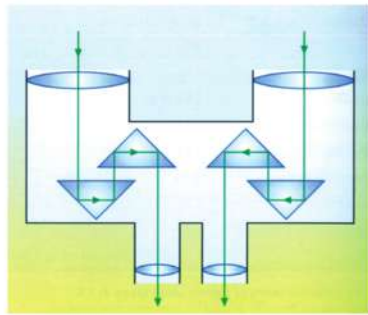
كيف تعمل الألياف الضوئية:

إذا كان لدينا أنبوبة مجوفة، ونظرنا من أحد طرفيها لنرى جسماً مضيئاً في الطرف الآخر، فإنه يمكن رؤيته. أما إذا حدث انثناء للأنبوبة المجوفة، فلا يمكن رؤية الجسم المضيء. وفي هذه الحالة كيف يمكن رؤيته؟ إذا وضعنا مرآة عاكسة عند مواضع مسار الشعاع الضوئي فإننا نستطيع في هذه الحالة رؤية الجسم المضيء. وبالمثل يمكن استخدام الألياف الضوئية عند سقوط شعاع

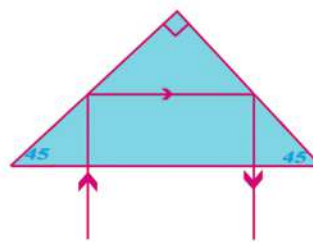
ضوئي بزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة فإنه يحدث إنعكاسات كلية ليخرج الشعاع بكامل طاقته من الطرف الآخر رغم انثناء هذه الألياف.

ثانياً: المنشور العاكس:

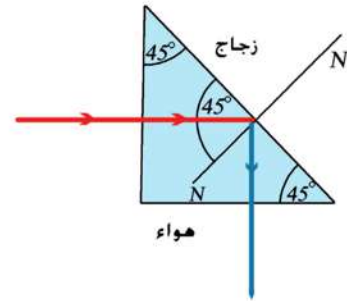
نظراً لأن الزاوية الحرجة بين زجاج معامل إنكساره المطلق (1,5) والهواء حوالى 42° فإن منشوراً ثلاثياً من الزجاج زواياه $(45, 45, 90)$ يستخدم فى تغيير مسار حزمة ضوئية بمقدار 90° أو 180° . ومثل هذا المنشور يستخدم فى بعض الأجهزة البصرية مثل البيروسكوب Periscope الذى يستخدم فى الغواصات البحرية وفى مناظير الميدان Binoculars شكل (٢-١٤).



جـ. استخدام المنشور فى منظار الميدان



ب. المنشور العاكس يغير مسار الضوء 180°



شكل (٢-١٤)

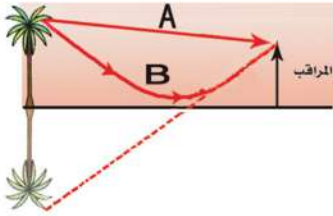
المنشور العاكس

واستخدام المنشور لهذا الغرض أفضل من استخدام السطح المعدنى العاكس (أو المرآة).
أولاً: لأن الضوء ينعكس فى المنشور إنعكاساً كلياً. ومن النادر أن يتواجد السطح المعدنى العاكس الذى تبلغ كفاءته ١٠٠٪.

ثانياً: يتعرض السطح المعدنى لما يفقده بريقه أو لمعانه، فتقل قابليته لعكس الضوء، ولا يحدث مثل هذا فى المنشور. صحيح أن جزءاً أو نسبة من الضوء تفقد عند دخوله أو خروجه من المنشور، ولكن يمكن تجنبها بتغطية السطح الذى يدخل منه الضوء أو يخرج منه بغشاء رقيق غير عاكس مثل فلوريد الألومنيوم وفلوريد الماغنيسيوم (معامل انكساره أقل من معامل انكسار الزجاج).

ثالثاً: السراب:

السراب ظاهرة مألوفة في الأيام القائظة (شديدة الحرارة) ويمكن رؤيتها صيفاً في الطرق حيث يبدو الطريق لراكب السيارة كما لو كان مغطى بالماء شكل (٢-١٥)، وكما يمكن ملاحظتها في الصحارى حيث ترى للنخيل أو التلال صوراً مقلوبة شبيهة بتلك الصور التي تحدث بالإنعكاس عن سطح الماء، وعندئذ يظن المراقب وجود الماء شكل (٢-١٥ ب).



شكل (٢-١٥ ب)

انعكاس السماء في الصحراء يوحي بوجود

ماء



شكل (٢-١٥ أ)

الطرق الممهدة تبدو مبللة

وتفسر هذه الظاهرة كما يلي:

في الأيام الشديدة الحرارة ترتفع درجة حرارة الطبقات الهوائية الملاصقة لسطح الأرض فتقل كثافتها عن كثافة الطبقات التي تعلوها. ويترتب على ذلك أن تكون معاملات انكسار طبقات الهواء العليا أكبر من تلك التي تحتها. لذلك إذا تتبعنا شعاعاً ضوئياً صادراً من قمة نخلة مثلاً فإن هذا الشعاع عند انتقاله من الطبقة العليا إلى الطبقة التي تقع تحتها ينكسر مبتعداً عن العمود.

وعند انتقاله من هذه الطبقة إلى التي تليها يزداد انحرافه. وهكذا يزداد انحراف الشعاع أثناء انتقاله خلال طبقات الهواء المتتالية. متخذاً مساراً منحنياً، وعندما تصبح زاوية سقوطه في إحدى الطبقات أكبر من الزاوية الحرجة بالنسبة للطبقة التي تحتها، فإن الشعاع الضوئي ينعكس انعكاساً كلياً، متخذاً مساراً منحنياً إلى أعلى حتى يصل إلى العين التي ترى صورة قمة النخلة على امتداد الشعاع الذي يصلها، وهذا يفسر رؤية صورتها مقلوبة (شكل ٢-١٥ ب) فيظن المراقب أن هناك ماء.

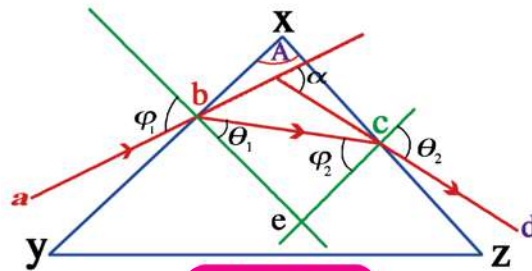
إنحراف الضوء في المنشور الثلاثي:

عندما يسقط شعاع ضوئي مثل الشعاع (ab) على الوجه (XY) لمنشور ثلاثي فإن هذا الشعاع ينكسر داخل المنشور متخذاً المسار (bc) حتى يسقط على الوجه (XZ) كما في الشكل (١٦-٢) فيخرج إلى الوسط الأول في الاتجاه (cd).

ومن هذا الشكل نتبين أن الشعاع الضوئي في المنشور الثلاثي ينكسر مرتين، إحداهما عند الوجه الأول (XY) والأخرى عند الوجه الثاني (XZ) ونتيجة لذلك ينحرف الشعاع عن مساره بزاوية معينة هي زاوية الإنحراف α .

زاوية الانحراف Deviation Angle : هي الزاوية الحادة المحصورة بين امتدادى الشعاع الساقط والشعاع الخارج ويرمز لها هنا بالرمز α .

وإذا كانت زاوية السقوط هي ϕ_1 وزاوية الانكسار عند الوجه الأول هي θ_1 وزاوية السقوط على الوجه الثاني هي ϕ_2 وزاوية الخروج هي θ_2 ، فإننا نتبين من هندسة الشكل ١٦-٢ ما يلي:



شكل (١٦-٢)

مسار شعاع الضوء في منشور ثلاثي

$$\alpha = (\phi_1 - \theta_1) + (\theta_2 - \phi_2)$$

$$\alpha = (\phi_1 + \theta_2) - (\theta_1 + \phi_2)$$

حيث أن مجموع زوايا الشكل الرباعي bxce هو 2π والزائيتين b و c قائمتان فإن الزاوية e هي (180-A)

وفي المثلث bce مجموع الزوايا 180° وعلى ذلك فإن :

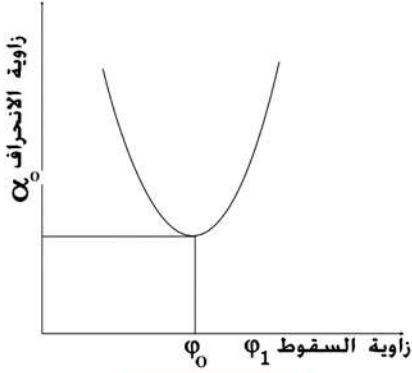
$$\theta_1 + \phi_2 = 180^\circ - (180^\circ - A^\circ) = A^\circ \quad (2-8)$$

وبالتعويض من المعادلة (3-8) نجد أن :

$$\alpha = \phi_1 + \theta_2 - A^\circ \quad (2-9)$$

ومن هذه العلاقة نتبين أن زاوية الانحراف في منشور ثلاثي زاوية رأسه A° تتوقف على زاوية السقوط ϕ_1 .

ويمكن عمليا بيان أن زاوية الانحراف تتناقص تدريجيا مع ازدياد زاوية السقوط حتى تصل زاوية الانحراف إلى حد معين يعرف بالنهاية الصغرى للانحراف ، بعده تأخذ زاوية الانحراف في الازدياد تدريجيا مع ازدياد زاوية السقوط كما في الشكل (٢ - ١٧)



شكل (٢ - ١٧)

زاوية الانحراف لها نهاية صغرى

وفي وضع النهاية الصغرى للانحراف يمكن عمليا ونظريا

اثبات أن:

$$\phi_1 = \theta_2 = \phi_0$$

$$\theta_1 = \phi_2 = \theta_0$$

وتصبح العلاقتان (2-8) و (2-9) كما يلي

$$A = 2 \theta_0$$

$$\theta_0 = \frac{A}{2}$$

ومنها

$$\alpha_0 = 2\phi_0 - A$$

ومنها

$$\phi_0 = \frac{\alpha_0 + A}{2}$$

$$n = \frac{\sin \phi}{\sin \theta}$$

ولكن

بالتعويض عن ϕ ، θ نجد أن معامل الانكسار للمنشور في وضع النهاية الصغرى للانحراف يتعين من

العلاقة:

$$n = \frac{\sin \left(\frac{\alpha_0 + A}{2} \right)}{\sin \left(\frac{A}{2} \right)} \quad (2-10)$$

تجربة عملية : تعيين مسار شعاع ضوئي خلال منشور زجاجي واستنتاج قوانين المنشور

الأدوات المطلوبة:

منشور من الزجاج زاوية رأسه 60° - دبابيس - منقلة - مسطرة.

خطوات العمل :

١ - ضع المنشور على ورقة بيضاء وحدد قاعدته المثلثة - ثم ابعد المنشور وارسم خطاً (ab) مائلاً على أحد وجهي المنشور يمثل شعاعاً ساقطاً بزاوية سقوط معينة. ضع المنشور في موضعه ، ثم انظر من الجانب المقابل ، وحدد موضع الشعاع الخارج (cd) بالاستعانة بالدبابيس ، أو بوضع مسطرة والنظر بحيث تصبح حافة المسطرة على امتداد صورة الشعاع الساقط (ab) ثم ارسم خطاً (cd) في محاذاة حافة المسطرة، تجد أن هذا الخط يقع على امتداد صورة الخط الأول .

٢ - ارفع المنشور ثم صل (bc) فيكون مسار الشعاع

الضوئي هو (abcd) من الهواء إلى الزجاج إلى الهواء ثانية.

٣ - مد الشعاع الخارج (cd) على استقامته حتى

يقابل امتداد الشعاع الساقط (ab) فتكون الزاوية المحصورة بينهما هي زاوية الانحراف α (شكل ٢-١٨)

٤ - قس كلا من زاوية السقوط ϕ_1 ، وزاوية الانكسار

θ_1 ، وزاوية السقوط الداخلية ϕ_2 ، وزاوية الخروج

θ_2 ، وزاوية الانحراف α

٥ - كرر العمل السابق عدة مرات بتغيير زاوية السقوط وضع النتائج في جدول

زاوية الانحراف α	زاوية الخروج θ_2	زاوية السقوط الداخلية ϕ_2	زاوية الانكسار θ_1	زاوية السقوط ϕ_1	زاوية رأس المنشور A

استخدم المعادلتين (2-8) و (2-9) لحساب قيمتي α ، و A ، وطابق النتائج بالقيم المقاسة عملياً.

تفريق الضوء بواسطة المنشور الثلاثي Dispersion

استنتجنا في الفقرة السابقة إنه في وضع النهاية الصغرى للانحراف يتعين معامل انكسار مادة

المنشور من العلاقة :

$$n = \frac{\sin \left(\frac{\alpha_0 + A}{2} \right)}{\sin \left(\frac{A}{2} \right)}$$

حيث n معامل الانكسار لمادة المنشور، α_0 هي النهاية الصغرى للانحراف ، A زاوية رأس المنشور. ونظراً لأن زاوية رأس المنشور ثابتة فإننا نتبين أن تغير معامل الانكسار يتبعه تغير في قيمة زاوية النهاية الصغرى للانحراف فزيادة معامل الانكسار تزداد قيمة النهاية الصغرى للانحراف والعكس صحيح.



شكل (٢ - ١٩)

المنشور يفرق ألوان الطيف

ونظراً لأن معامل الانكسار n يتوقف على الطول الموجي للضوء المار من خلال المنشور، فإن زاوية النهاية الصغرى للانحراف تتوقف بدورها على الطول الموجي .

لذلك إذا سقطت حزمة ضوء أبيض على منشور ثلاثي مهياً في وضع النهاية الصغرى للانحراف فإن الضوء الخارج من المنشور يتفرق إلى ألوان الطيف المعروفة كما في الشكل (٢ - ١٩)

ومن الشكل نتبين أن أشعة الضوء البنفسجي تكون أكثر الأشعة انحرافاً (معامل انكسارها أكبر)، وأن أشعة الضوء الأحمر تكون أقل الأشعة انحرافاً (معامل انكسارها أصغر) . وألوان الطيف المرئي التي يتفرق إليها الضوء الأبيض هي بالترتيب (من جهة رأس المنشور إلى قاعدته) :

الأحمر - البرتقالي - الأصفر - الأخضر - الأزرق - النيلي - البنفسجي.

تعميق المعرفة



لتعميق معرفتك في هذا الموضوع يمكنك الاستعانة ببنك المعرفة المصري من خلال الرابط المقابل :

المنشور الرقيق:

هو عبارة عن منشور ثلاثي من الزجاج مثلاً، زاوية رأسه صغيرة لا تتجاوز عدة درجات ويكون دائماً في وضع النهاية الصغرى للانحراف. أي أن معامل انكسار مادة المنشور يحسب من العلاقة :

$$n = \frac{\sin \left(\frac{\alpha_o + A}{2} \right)}{\sin \left(\frac{A}{2} \right)}$$

ونظراً لأن $\left(\frac{\alpha_o + A}{2} \right)$ وكذلك $\left(\frac{A}{2} \right)$ هي زوايا صغيرة ، يكون جيب الزاوية مساوياً لقيمة الزاوية بالتقدير الدائري . وعلى ذلك يكون:

$$\sin \left(\frac{\alpha_o + A}{2} \right) \cong \left(\frac{\alpha_o + A}{2} \right)$$

وكذلك

$$\sin \left(\frac{A}{2} \right) \cong \frac{A}{2}$$

وبالتعويض عنهما في العلاقة السابقة نجد أن معامل انكسار مادة المنشور الرقيق يتعين من العلاقة الآتية:

$$n = \frac{\alpha_o + A}{A} \quad (2-11)$$

$$\alpha_o = A (n - 1) \quad (2-12)$$

قوة التفريق اللوني Dispersive Power

عند سقوط ضوء أبيض على منشور ثلاثي يتفرق هذا الضوء إلى ألوان الطيف المعروفة ويرجع هذا إلى اختلاف معاملات الانكسار تبعاً لاختلاف أطوالها الموجية

$$(\alpha_o)_r = A (n_r - 1)$$

$$(\alpha_o)_b = A (n_b - 1)$$

حيث A زاوية رأس المنشور الرقيق ، n_r معامل انكسار مادته للضوء الأحمر ، n_b معامل انكسار مادته للضوء الأزرق.

بالطرح نجد أن

$$(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r = A (n_b - n_r) \quad (2-13)$$

يمثل الطرف الأيسر ما نسميه بالانفراج الزاوى بين الشعاعين الأزرق والأحمر ، وبالنسبة للضوء

الأصفر (الذى يتوسط اللونين الأحمر والأزرق) تكون زاوية انحرافه فى المنشور الرقيق هى:

$$(\alpha_o)_y = A (n_y - 1) \quad (2-14)$$

حيث n_y معامل انكسار مادة المنشور للضوء الأصفر فإذا كانت $(\alpha_o)_y$ متوسط $(\alpha_o)_b$ ، $(\alpha_o)_r$

فإن n_y متوسط n_b ، n_r

وبالقسمة نجد أن

$$\omega_\alpha = \frac{(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r}{(\alpha_o)_y} = \frac{n_b - n_r}{n_y - 1} \quad (2-15)$$

وتسمى ω_α قوة التفريق اللونى Dispersive Power وهى كما نرى لا تتوقف على زاوية رأس المنشور.

تلخيص:

- قانونا انعكاس الضوء:

(١) زاوية السقوط = زاوية الإنعكاس.

(٢) الشعاع الضوئي الساقط، والشعاع الضوئي المنعكس، والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس تقع جميعها في مستوى واحد عمودى على السطح العاكس.

- يغير الضوء من اتجاه انتشاره عند انتقاله من وسط إلى وسط آخر بسبب اختلاف سرعة الضوء في الوسط الثانى v_2 عن سرعته في الوسط الأول v_1 . ويخضع الضوء في انكساره لما يلي:

(١) نسبة جيب زاوية السقوط في الوسط الأول إلى جيب زاوية في الوسط الثانى نسبة ثابتة لهذين الوسطين، تسمى معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول إلى الوسط الثانى، ويرمز لها بالرمز

$${}_1n_2 = \frac{\sin \phi}{\sin \theta}$$

حيث ϕ زاوية السقوط في الوسط الأول ، θ زاوية الانكسار في الوسط الثانى

(٢) الشعاع الضوئي الساقط والشعاع الضوئي المنكسر والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح الفاصل تقع جميعها في مستوى واحد عمودى على السطح الفاصل.

- معامل الانكسار من الوسط الأول إلى الوسط الثانى هو نسبة سرعة الضوء v_1 في الوسط الأول إلى سرعة الضوء v_2 في الوسط الثانى أى أن:

$${}_1n_2 = \frac{v_1}{v_2}$$

وهذه صورة أخرى لمعامل النسبى بين وسطين.

- معامل الانكسار المطلق لوسط هو $n = \frac{c}{v}$

أى هو نسبة سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعة الضوء في الوسط.

- قانون سنل للضوء ينص على : حاصل ضرب معامل الإنكسار المطلق لوسط السقوط في جيب زاوية السقوط يساوى معامل الإنكسار المطلق لوسط الإنكسار في جيب زاوية الإنكسار.

$$n_1 \sin \phi = n_2 \sin \theta$$

- فى تجربة ينج تتعين المسافة بين أى هدبتين متتاليتين من نفس النوع (مضيئتين أو مظلمتين) من العلاقة :

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d}$$

حيث λ طول موجة الضوء المستخدم ، R المسافة بين الحائل المعد لاستقبال الهدب والحاجز ذى الشق المزدوج، d المسافة بين الشقين.

- الضوء حركة موجية .
- الزاوية الحرجة : هى زاوية سقوط فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية تقابلها زاوية انكسار فى الوسط الأقل كثافة ضوئية مقدارها 90°
- معامل الانكسار المطلق لوسط يساوى مقلوب جيب الزاوية الحرجة له عند انتقال الضوء من هذا الوسط إلى الهواء أو الفراغ.

$$n = \frac{1}{\sin \phi_c}$$

- الانعكاس الكلى : عندما تكون زاوية سقوط الضوء فى الوسط الأكبر كثافة ضوئية أكبر من الزاوية الحرجة، فإن الضوء لا ينفذ إلى الوسط الأقل كثافة ضوئية وإنما ينعكس عند السطح الفاصل انعكاساً كلياً.
- السراب ظاهرة تنتج عن الانعكاس الكلى.
- زاوية رأس المنشور الثلاثى $A = \theta_1 + \phi_2$
- زاوية الانحراف α هى الزاوية الحادة المحصورة بين امتدادى الشعاعين الساقط والخارج وتتعين من العلاقة:

$$\alpha = (\phi_1 + \theta_2) - A$$

حيث ϕ_1 زاوية السقوط ، θ_2 زاوية الخروج ، A زاوية رأس المنشور.

- فى وضع النهاية الصغرى للانحراف يكون :

$$\phi_1 = \theta_2 = \phi_0$$

$$\theta_1 = \phi_2 = \theta_0$$

يتعين معامل انكسار مادة المنشور من العلاقة :

$$n = \frac{\sin \left(\frac{\alpha_o + A}{2} \right)}{\sin \left(\frac{A}{2} \right)}$$

حيث n معامل الانكسار، α_i زاوية الانحراف في وضع النهاية الصغرى ، A زاوية رأس المنشور.

• يتعين الانحراف في المنشور الرقيق من العلاقة :

$$\alpha_o = A (n - 1)$$

• الانفراج الزاوى في المنشور الرقيق يحسب من ناتج الطرح:

$$(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r$$

حيث $(\alpha_o)_b$ زاوية انحراف الأشعة الزرقاء، $(\alpha_o)_r$ زاوية انحراف الأشعة الحمراء

• قوة التفريق اللونى $(\omega)_\alpha$ هى:

$$\omega_\alpha = \frac{(\alpha_o)_b - (\alpha_o)_r}{(\alpha_o)_y}$$

$$\omega_\alpha = \frac{n_b - n_r}{n_y - 1}$$

حيث n_b هى معامل انكسار مادة المنشور للون الأزرق.

n_r معامل انكسار مادة المنشور للون الأحمر.

n_y معامل انكسار مادة المنشور للون الأصفر.

أسئلة وتمارين:

أولاً - أسئلة المقال

١- وضح لماذا يمكن القول بأن الضوء حركة موجية.

٢- اشرح تجربة توضح بها ظاهرة التداخل في الضوء.

٣- فسر ظاهرة تكون السراب.

ثانياً - عرف كلاً من :

معامل الانكسار النسبي بين وسطين - معامل الانكسار المطلق لوسط - الزاوية الحرجة - زاوية

الانحراف.

ثالثاً - أكمل العبارات التالية :

(أ) تتعين المسافة بين هديتين متتاليتين من نفس النوع من العلاقة

(ب) قانون سنل هو

(ج) الانفراج الزاوى فى منشور رقيق يتعين من العلاقة

(د) قوة تفريق مادة هى

رابعاً - ضع علامة (✓) أمام الاختيار الصحيح

(١) عندما ينعكس الضوء تكون :

(أ) زاوية السقوط أقل من زاوية الانعكاس (ب) زاوية السقوط أكبر من زاوية الانعكاس

(ج) زاوية السقوط = زاوية الانعكاس (د) لا توجد أجابة صحيحة.

(٢) عندما ينكسر الضوء تكون النسبة $\frac{\sin \phi}{\sin \theta}$ (حيث ϕ زاوية السقوط، θ زاوية الانكسار).

(أ) نسبة ثابتة للوسطين (ب) غير ثابتة لهذين الوسطين.

(ج) مقدار ثابت أكبر من الواحد الصحيح دائماً. (د) مقدار ثابت أقل من الواحد الصحيح دائماً.

(٣) نسبة جيب زاوية السقوط فى الوسط الأول الى جيب زاوية الانكسار فى الوسط الثانى تسمى :

(أ) معامل الانكسار المطلق للوسط الأول.

(ب) معامل الانكسار المطلق للوسط الثانى.

(ج) معامل الانكسار النسبى من الوسط الثانى إلى الوسط الأول.

(د) معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول إلى الوسط الثانى.

(٤) معامل الانكسار n_2 يساوى:

$$\begin{array}{ll} \frac{n_2}{n_1} \text{ (أ)} & \frac{n_1}{n_2} \text{ (ب)} \\ n_1 n_2 \text{ (ج)} & \frac{\sin \phi_2}{\sin \theta_1} \text{ (د)} \end{array}$$

(٥) يتعين معامل انكسار مادة منشور ثلاثى فى وضع النهاية الصغرى للانحراف من:

$$\begin{array}{ll} n = \frac{\sin \alpha_o}{\sin A} \text{ (أ)} & n = \frac{\sin \left(\frac{\alpha_o + A}{2} \right)}{\sin \left(\frac{\alpha_o}{2} \right)} \text{ (ب)} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} n = \frac{\sin \left(\frac{\alpha_o + A}{2} \right)}{\sin A} \text{ (د)} & n = \frac{\sin \left(\frac{\alpha_o + A}{2} \right)}{\sin \left(\frac{A}{2} \right)} \text{ (ج)} \end{array}$$

(٦) يتعين الإنحراف فى المنشور الرقيق من العلاقة :

$$\begin{array}{lll} \alpha_o = n(A - 1) \text{ (أ)} & n = A(\alpha_o - 1) \text{ (ب)} & \alpha_o = A(n + 1) \text{ (ج)} \\ \alpha_o = A(n - 1) \text{ (د)} & & \end{array}$$

(٧) شعاع ضوئى يسقط على سطح يفصل بين وسطين فإذا كانت زاوية السقوط 60° وزاوية الانكسار

30° فإن معامل الانكسار النسبى من الوسط الأول الى الوسط الثانى هو:

$$\begin{array}{llll} \sqrt{3} \text{ (أ)} & \frac{1}{2} \text{ (ب)} & \sqrt{2} \text{ (ج)} & 2 \text{ (د)} \end{array}$$

(٨) شعاع ضوئى يسقط بزاوية 48.5° على أحد أوجه متوازى مستطيلات من الزجاج ومعامل انكسار

مادته 1.5 فتكون زاوية انكساره هى:

$$\begin{array}{ll} 20^\circ \text{ (أ)} & 30^\circ \text{ (ب)} \\ 35^\circ \text{ (ج)} & 40^\circ \text{ (د)} \end{array}$$

(٩) فى تجربة لتعيين النهاية الصغرى للانحراف فى المنشور الثلاثى وجد أن هذه الزاوية تساوى

48.2° فإذا كانت زاوية رأس المنشور 58.8° فإن معامل انكسار مادته هو:

$$\begin{array}{ll} 1.5 \text{ (أ)} & 1.63 \text{ (ب)} \\ 1.82 \text{ (ج)} & 1.85 \text{ (د)} \end{array}$$

(١٠) إذا كانت الزاوية الحرجة لوسط بالنسبة للهواء هو 45° فإن معامل انكسار هذا الوسط هو:

(أ) 1.64 (ب) 2

(ج) 1.7 (د) $\sqrt{2}$

(١١) منشور رقيق من الزجاج رأسه 5° ومعامل انكسار مادته 1.6 تكون زاوية انحراف الضوء فيه

هي:

(أ) 5° (ب) 6°

(ج) 8° (د) 3°

(١٢) منشور رقيق يحرف الأشعة الضوئية الساقطة عليه بمقدار 4° فإذا كانت زاوية رأسه 8° فإن

معامل انكسار مادته هو :

(أ) 1.5 (ب) 1.4

(ج) 1.33 (د) 1.6

الوحدة الثانية

الموائع



الفصل الثالث: خواص الموائع الساكنة

الفصل الرابع: خواص الموائع المتحركة

خواص الموائع

الوحدة الثالثة



الفصل الثالث: خواص الموائع الساكنة

الموائع

الوحدة الثانية

خواص الموائع الساكنة

الفصل الثالث

المقدمة:

إن الموائع هي المواد التي تتميز بقدرتها على الإنسياب، وبالتالي تشتمل الموائع على المواد السائلة والغازية. في حين أن الغازات تتميز عن السوائل في قابليتها بسهولة للإنضغاط، بينما تقاوم السوائل أى ضغط عليها تقريباً، وعلى ذلك تتميز السوائل بالحركة الإنسيابية غير القابلة للإنضغاط *Incompressible*. كما أن للسوائل حجم معين في حين أن الغازات تشغل أى حيز توجد فيه.

الكثافة *Density*:

هي خاصية أساسية لأى مادة، ويرمز لها بالرمز ρ وتعرف بكتلة وحدة الحجم، ووحدتها في النظام الدولي هي kg/m^3 .

$$\rho = \frac{m}{V}$$

(3 - 1)

يعزى التغير في الكثافة من عنصر لآخر لما يلي:

١ - التغير في الوزن الذرى.

٢ - الاختلاف في المسافة البينية بين الذرات أو الجزيئات.

وقد سبق لنا معرفة أن الأجسام ذات الكثافة الصغيرة تطفو فوق السوائل ذات الكثافة الأكبر.

ويوضح الجدول التالى أمثلة لكثافة بعض المواد الشائعة.

الكثافة kg/m ³	المادة	الكثافة kg/m ³	المادة
820	الكبروسين	2700	الجرامد :
13600	الزئبق	8600	الومنيوم
1260	الجليسرين	8890	النحاس الأصفر
1000	الماء	2600	النحاس الأحمر
		19300	الزجاج العادي
	الغازات :	910	الذهب
1.29	الهواء	7900	الجليد (الثلج)
0.76	غاز النشادر	11400	الحديد
1.96	ثاني أكسيد الكربون	21400	الرصاص
1.25	أول أكسيد الكربون	7830	البلاطين
0.18	الهليوم	1600	الصلب
0.090	الهيدروجين	1800	السكر
1.25	النيتروجين		الشمع
1.43	الأكسجين		
		790	السوائل :
		900	الكحول الإيثيلي
		1040	البنزين
		690	الدم
			الجازولين

ويطلق على نسبة كثافة مادة ما إلى كثافة الماء في نفس درجة الحرارة اسم الكثافة النسبية للمادة.

$$\text{الكثافة النسبية لمادة} = \frac{\text{كثافة المادة في درجة حرارة معينة}}{\text{كثافة الماء في نفس درجة الحرارة}} \quad (2-3)$$

وبصفة عامة:

$$\text{الكثافة النسبية لمادة} = \frac{\text{كتلة حجم معين من المادة في درجة حرارة معينة}}{\text{كتلة نفس الحجم من الماء في نفس درجة الحرارة}}$$

ونظراً لأن الكثافة النسبية لمادة هي نسبة بين كميتين متماثلتين لهذا لا يكون للكثافة النسبية للمادة

وحدات قياس.

تطبيقات الكثافة:

١- قياس الكثافة له أهمية كبرى، حيث تعتبر من إحدى التقنيات التحليلية، حيث إنها تستخدم في قياس كثافة المحلول الإلكتروليتي ببطارية السيارة. فعندما تفرغ الشحنة الكهربائية من البطارية تقل كثافة المحلول الإلكتروليتي (حمض كبريتيك مخفف) نتيجة استهلاك حمض الكبريتيك في تفاعله مع ألواح الرصاص وتكوين كبريتات الرصاص، وعند إعادة شحن البطارية تتحرر أيونات الكبريتات من ألواح الرصاص وتعود للمحلول مرة أخرى، فتزداد الكثافة وبذلك يمكن من قياس الكثافة الاستدلال على مدى شحن البطارية.

٢- تستخدم أيضاً تطبيقات الكثافة في العلوم الطبية لقياس كثافة الدم والبول.

فكثافة الدم وهو في الحالة الطبيعية ما بين 1040kg/m^3 إلى 1060kg/m^3 ، فإذا زادت كثافته دل ذلك على أن تركيز خلايا الدم زاد ، وإذا نقص عن ذلك دل ذلك على نقص تركيز خلايا الدم وهذا يشير إلى مرض فقر الدم (الأنيميا).

والكثافة المعتادة للبول هي 1020kg/m^3 وبعض الأمراض تؤدي إلى زيادة إفراز الأملاح، هذا يؤدي إلى زيادة مقابلة في كثافة البول.

الضغط Pressure

يعرف الضغط عند نقطة: بالقوة المتوسطة المؤثرة عمودياً على وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة. لذلك إذا أثرت قوة (F) عمودياً على سطح مساحتها (A) فإن الضغط (P) المؤثر على هذا السطح يتعين من العلاقة:

$$P = \frac{F}{A}$$

(3-3)

ونظراً لأن القوة (F) مقدرة بالنيوتن والمساحة (A) مقدرة بالمتربيع، فإن الوحدة التي يقاس بها الضغط هي نيوتن / متر مربع (N/m^2).

معلومة إثرائية



ضغط قدم الفيل أم قدم الإنسان؟

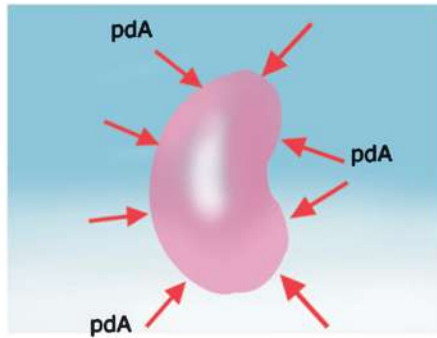
لأن الضغط هو القوة على وحدة المساحة. فإن الضغط نتيجة كعب مدبب أكبر من الضغط الذي يؤثر به قدم الفيل على الأرض، لأن مساحة الكعب المدبب صغيرة للغاية (شكل ٣-١).

شكل (٣-١)

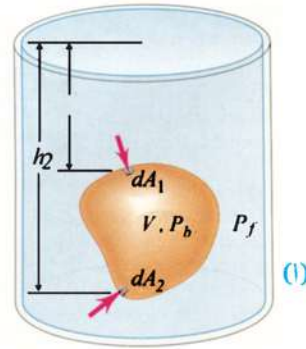
مفهوم الضغط

الضغط عند نقطة في باطن سائل وقياسه:

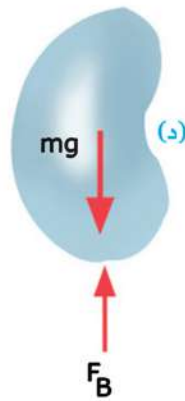
إذا دفعت قطعة من الفلين تحت سطح الماء ثم تركتها، ستجد أن قطعة الفلين ترتفع إلى سطح الماء مرة ثانية، وهذا يوضح أن الماء يدفع قطعة الفلين المغمورة بقوة إلى أعلى، هذه القوة تنشأ عن فرق ضغط الماء على هذه القطعة.



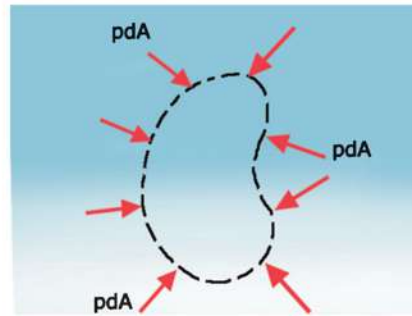
(ب)



(ا)



(د)



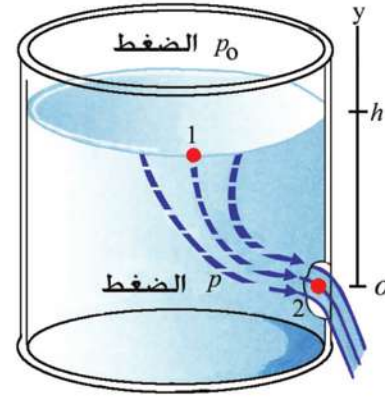
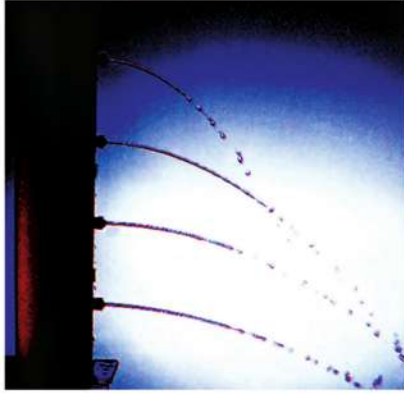
(ج)

شكل (٣ - ٢)

الضغط داخل سائل

القوة الناشئة عن الضغط داخل سائل تكون عمودية على أى سطح

وعند أى نقطة في باطن سائل، يمكن أن يؤثر الضغط في أى اتجاه، واتجاه القوة الناشئة عن الضغط على سطح معين تكون عمودية على السطح. ويكون الضغط على جسم ما هو نفسه الضغط على حجم من السائل لو لم يوضع الجسم مكانه. أى أن السائل الذى كان يشغل مكان الجسم تؤثر عليه قوتان، وزنه لأسفل والقوة الناشئة عن ضغط السائل المحيط به، وكلما زاد عمق السائل زاد الضغط (شكل ٣-٣).

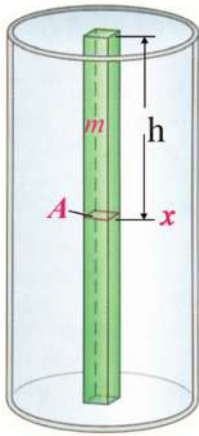


شكل (٣ - ٣)

كلما زاد عمق السائل زاد الضغط

ولحساب الضغط (P) نفترض وجود لوح أفقي مساحته $m^2(A)$ على عمق $m(h)$ تحت سطح سائل

كثافته $\rho(kg/m^3)$ كما في الشكل (٣-٤)، ويعمل هذا اللوح كقاعدة لعمود من السائل



شكل (٤ - ٣)

حساب ضغط عمود من السائل

يمكننا أن ندرك أن القوة التي يؤثر بها السائل على اللوح (X) تساوي وزن عمود من السائل إرتفاعه (h) ومساحة مقطعه (A)، لأن السائل غير قابل للانضغاط Incompressible، فإن القوة الناتجة عن ضغط السائل لابد أن تتزن مع وزن عمود السائل الذي إرتفاعه (h). وحيث أن حجم هذا السائل يساوي Ah، وكتلة السائل تساوي Ahp، فإن وزن السائل F_g نيوتن يتعين من العلاقة.

$$F_g = Ah\rho g$$

حيث $g(m/s^2)$ هي عجلة الجاذبية:

عندئذ يتعين ضغط السائل P على اللوح (X) من العلاقة:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{Ah\rho g}{A}$$

$$\therefore P = h\rho g \text{ N/m}^2 \quad (3-4)$$

وهذه هي قيمة الضغط الذي يؤثر به السائل وحده عند نقطة في باطنه على عمق h،

وإذا أخذنا في الاعتبار أن سطح السائل الخالص يتعرض للضغط الجوي، P_a فإن الضغط الكلي عند نقطة في باطن سائل تتعين من العلاقة:

$$P = P_a + h\rho g$$

(3-5)

وتوضح المشاهدات أن ضغط السائل P عند نقطة في باطنه يزداد بزيادة عمق هذه النقطة (h) تحت سطح نفس السائل كما يزداد الضغط بزيادة كثافة السائل عند نفس العمق.

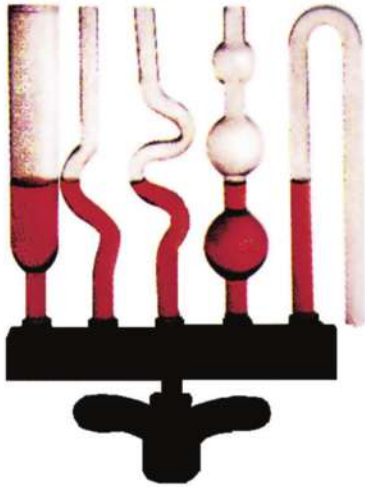
ومن هذه العلاقة يمكن أن نتبين ما يلي:

١- جميع النقط التي تقع في مستوى أفقي واحد في باطن السائل يكون لها نفس الضغط.

٢- السائل الذي يملأ إناء متعدد الأجزاء (الأواني المستطرقة) Connecting Vessels يرتفع في هذه الأجزاء بنفس المقدار، بغض النظر عن الأشكال الهندسية لها بشرط أن تكون قاعدة الإناء في مستوي أفقي، (شكل ٣-٥).

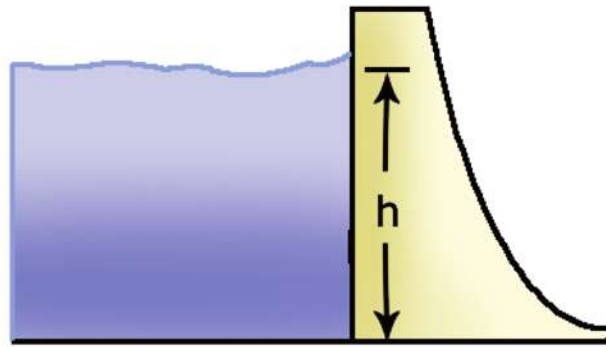
ولهذا فإن مستوي سطح البحر واحد لكل البحار المتصلة ببعضها.

٣- يصمم السد بحيث يزداد سمك السد عند قاعدته ليتحمل الضغط المتزايد مع زيادة العمق (شكل ٣-٦).



شكل (٣-٥)

يرتفع الماء إلى نفس المستوى في
الأواني المستطرقة



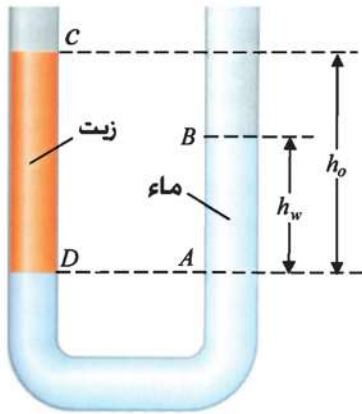
شكل (٣-٦)

قواعد السدود أكثر سمكا لتحتمل الضغط عند عمق

اتزان السوائل في أنبوبة ذات شعبتين:

لنأخذ أنبوبة ذات شعبتين على شكل حرف U تحتوي على كمية مناسبة من الماء. نضيف كمية من الزيت في أحد فرعى الأنبوبة، وليكن الفرع الأيسر، حتى يصل سطح الزيت إلى مستوى معين عند C، مع ملاحظة أن الماء والزيت لا يمتزجان بل ويكون هناك مستوى فاصل بين الإثنين هو AD، وليكن ارتفاع الزيت h_o فوق السطح الفاصل AD بين الماء والزيت، وليكن ارتفاع الماء في الفرع الأيمن فوق المستوى AD هو h_w (شكل ٣-٧).

ونظرا لأن الضغط عند A = الضغط عند D



$$\therefore P_a + \rho_o g h_o = P_a + \rho_w g h_w$$

حيث P_a الضغط الجوي، ρ_o كثافة الزيت، ρ_w كثافة الماء.

$$h_o \rho_o = h_w \rho_w$$

والعلاقة السابقة يمكن اختصارها على النحو التالي:

$$\frac{\rho_o}{\rho_w} = \frac{h_w}{h_o} \quad (3-6)$$

وبقياس h_o ، h_w يمكن تعيين الكثافة النسبية للزيت عمليا.

وبمعلومية كثافة الماء يمكن معرفة كثافة الزيت.

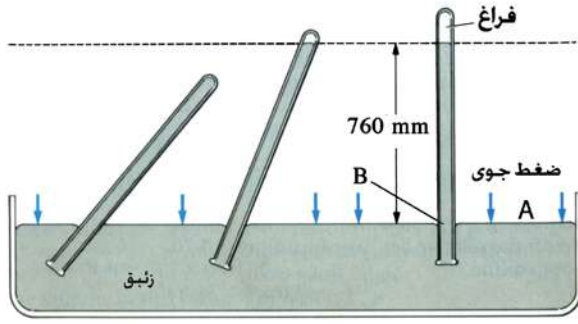
شكل (٣ - ٧)

اتزان السوائل في الأنبوبة ذات

الشعبتين

الضغط الجوي Atmospheric Pressure:

لقياس الضغط الجوي قام تورشيلي Torcelli باختراع البارومتر الزئبقي، حيث أخذ أنبوبة زجاجية طولها حوالي متر، وملأها تماما بالزئبق، ثم نكسها في حوض به زئبق. فلاحظ أن سطح الزئبق في الأنبوبة قد انخفض إلى مستوى معين بحيث كان الارتفاع العمودي له 0.76m تقريباً. وبديهي أن الحيز الموجود فوق سطح الزئبق في الأنبوبة يكون مفرغاً (إلا من قليل من بخار الزئبق الذي يمكن إهمال ضغطه)، ويسمى هذا الحيز باسم فراغ تورشيلي.



شكل (٣ - ٨)

ارتفاع الزئبق في المانومتر لا يتأثر بميل البارومتر

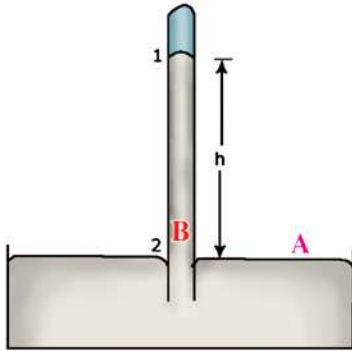
ويتضح من الشكل (٣-٨) أن الإرتفاع الرأسى لعمود الزئبق h داخل الأنبوبة فوق مستوى السطح الخالص للزئبق فى الحوض يظل ثابتاً، سواء كانت الأنبوبة فى وضع رأسي أو فى وضع مائل. وإذا أخذنا النقطتين A ، B فى مستوى أفقى واحد (شكل ٣-٩)، بحيث تكون النقطة A خارج الأنبوبة عند سطح الزئبق فى الحوض والنقطة B داخلها فإن:

$$\text{الضغط عند B} = \text{الضغط عند A}$$

وبذلك يكون:

$$P_a = \rho gh$$

(3 - 7)



شكل (٣ - ٩)

البارومتر البسيط

معنى هذا أن الضغط الجوى يكافئ الضغط الناشئ عن وزن عمود من الزئبق إرتفاعه (حوالى 0.76m) ومساحة مقطعه واحد متر مربع (عند صفر درجة سلزيوس).

- **الضغط الجوى المعتاد** هو ضغط الهواء مقاساً عند سطح

البحر، ويساوى 0.76m Hg . ويعرف معدل الضغط ودرجة الحرارة

S.T.P بأنه الضغط الذى يساوى 0.76m Hg عند درجة حرارة 0°C ، ويتكرر هذا المصطلح كثيراً عند معالجة قوانين الغازات.

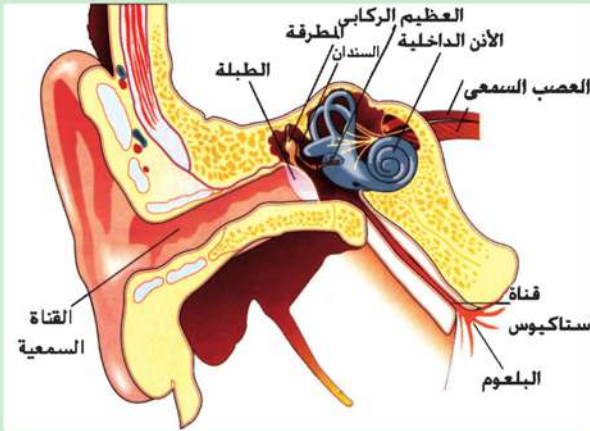
ونظراً لأن كثافة الزئبق عند 0°C تساوى 13595kg/m^3 وعجلة الجاذبية الأرضية 9.8m/s^2 فإن

الضغط الجوى المعتاد:

$$\begin{aligned} P_a &= 1 \text{ Atm} = 0.76 \times 13595 \times 9.81 \\ &= 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

معلومة إثرائية

ماذا يحدث في الأذن عند الإرتفاع عن سطح الأرض؟



شكل (٣ - ١٠)

نموذج للأذن

الضغط الجوي هو وزن عمود الهواء فوق سطح الأرض لوحده المساحات. فكلما ارتفعنا عن سطح الأرض قل ارتفاع هذا العمود وبالتالي الضغط. وعند طبلة الأذن يتزن الضغط الخارجى مع الضغط الداخلى للجسم. لذلك عندما يقل الضغط الخارجى نشعر بتوتر فى طبلة الأذن، إذا أن الضغط الداخلى يدفعها قليلاً للخارج، ويمكن معادلة هذا الضغط بالتحكم فى كمية الهواء فى قناة استاكيوس Eustachian Tube بالبلع ومضغ اللبان لتخفيض الضغط على الطبلة (شكل ٣-١٠)

الوحدات التى يقاس بها الضغط الجوى:

يتضح من العلاقة السابقة أن الوحدات التى يقاس بها الضغط الجوى فى النظام الدولى هى نفسها وحدات الضغط وهى N/m^2 .

ولقد اتخذت وحدة «باسكال» لتكافىء (N/m^2) .

$$1 \text{ Pascal} = 1 N/m^2$$

وبالتالى يكون الضغط الجوى المعتاد $P_a = 1.013 \times 10^5 \text{ Pascal}$

كما اتخذت وحدة أكبر هى «بار» لتكافىء $1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pascal} (10^5 N/m^2)$

وبالتالى يكون الضغط الجوى المعتاد $P_a = 1.013 \text{ Bar}$

هذا فضلاً عن قياس الضغط الجوى بوحدة ميلليمتر زئبق وتسمى أيضاً تور Torr

$$1 \text{ Torr} = 1 \text{ mm Hg}$$

ولذلك يكون الضغط الجوى المعتاد:

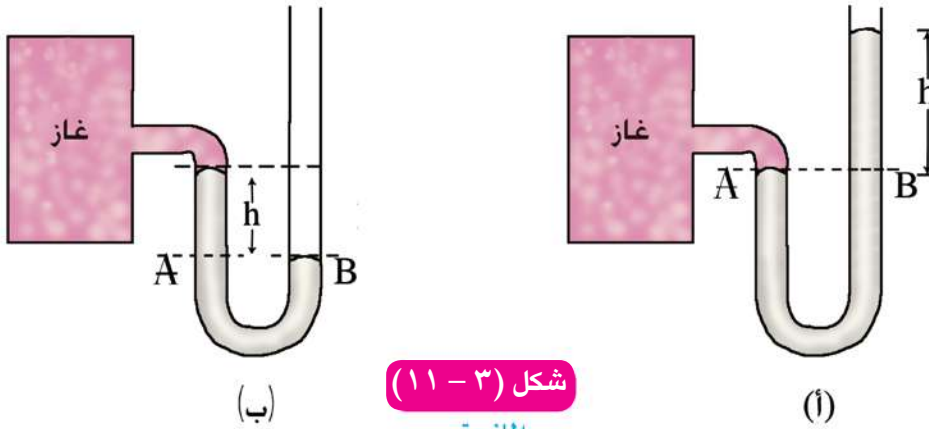
$$P_a (1 \text{ Atm}) = 760 \text{ Torr} = 760 \text{ mm Hg} = 0.76 \text{ m Hg} = 1.013 \text{ Bar}$$

المانومتر:

المانومتر Manometer عبارة عن أنبوبة ذات شعبتين على شكل حرف U تحتوي على كمية سائل مناسب كثافته معروفة، تتصل إحدى الشعبتين بمستودع الغاز المراد قياس ضغطه، ونتيجة لذلك قد يرتفع سطح السائل في المانومتر في إحدى الشعبتين وينخفض في الأخرى.

وإذا أخذنا النقطتين A,B في مستوى أفقى واحد في نفس السائل (شكل ٣-١١) يكون:

$$P = P_a + \rho gh \quad \text{الضغط عند B} = \text{الضغط عند A}$$



شكل (٣-١١)

المانومتر

(أ) عندما يكون ضغط الغاز أكبر من الضغط الجوى.

(ب) عندما يكون ضغط الغاز أقل من الضغط الجوى.

حيث P ضغط الغاز المحبوس في المستودع أكبر من P_a الضغط الجوى، ρgh تمثل ضغط السائل في الفرع الخالص للمانومتر فوق النقطة B، وهو فرق الضغط بين P_a ، P . وفي حالة إذا كان ضغط الغاز P أقل

من الضغط الجوى (شكل ٣-١١ ب) فإن: $P = P_a - \rho gh$

حيث يكون سطح السائل في الفرع الخالص للمانومتر أدنى من سطح السائل في الفرع المتصل بالمستودع.

وفى كثير من التطبيقات العلمية لا يكون ضروريا قياس ضغط الغاز فى المستودع وإنما يكون من المفيد قياس فرق الضغط فقط أى:

$$\Delta P = P - P_a = \rho gh$$

(3-8)

من هذه العلاقة يمكن بمعرفة كثافة السائل ρ فى المانومتر، وفرق الارتفاع h بين سطحى السائل فى

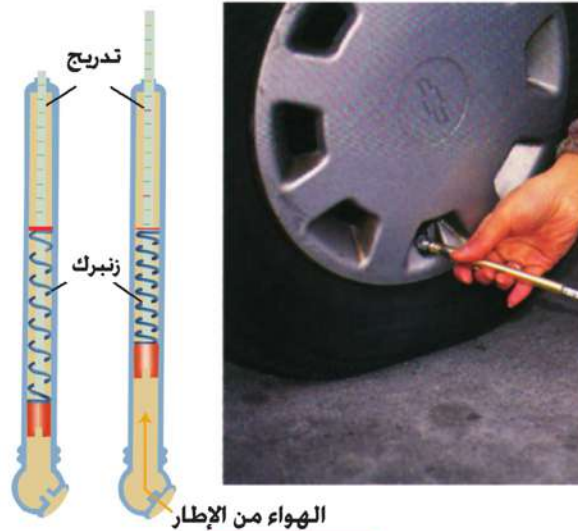
شعبيته، وكذلك عجلة الجاذبية g حساب فرق الضغط ΔP .

وأيضا يمكن حساب ضغط الغاز بمعرفة الضغط الجوى.

تطبيقات على الضغط:

١- الدم سائل لزج، يُضخ من خلال نظام معقد من الشرايين والأوردة، بواسطة تأثير عضلي للقلب. وإنسياب الدم خلال الجسم - عادة - ما يكون انسياباً هادئاً. أما إذا كان معدل انسياب الدم مضطرباً فإنه يكون مصحوباً بضجيج، ويعتبر هذا الشخص مريضاً. ومن السهل الإحساس بهذا الضجيج من خلال سماعة الطبيب عند وضعها على الشريان، وهذا يحدث عند قياس ضغط الدم، حيث توجد - عادة - قيمتان للضغط: الضغط الانقباضي Systolic Pressure وفيه يكون ضغط الدم بالشريان في أقصى قيمة له، ويحدث عندما تنقلص عضلة القلب، ويندفع الدم من البطين الأيسر Left Ventricle إلى الأورطي (الأبهر) Aorta، ومن هناك إلى الشرايين. والضغط الانبساطي Diastolic Pressure وفيه يقل ضغط الدم بالشريان إلى أقل ما يمكن عند انبساط عضلة القلب. وفي الإنسان المتمتع بصحة جيدة يكون الضغط الانقباضي 120 Torr والضغط الانبساطي 80 Torr

٢- يمتلئ إطار السيارة بالهواء تحت ضغط عالي، فتكون مساحة التماس مع الطريق أقل ما يمكن، أما إذا كان الإطار ممتلئاً تحت ضغط منخفض فإن مساحة التماس بين الإطار والطريق تزداد، ويؤدي ذلك إلى زيادة الاحتكاك وسخونة الإطار، ويمكن قياس ضغط الهواء في الإطار بمقياس ضغط الهواء (شكل ٣-١٢).



شكل (٣-١٢)

قياس ضغط هواء في إطار سيارة

أمثلة:

١- متوازي مستطيلات صلب أبعاده $(5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm})$ كثافة مادته 5000 kg/m^3 وضع على سطح مستوى أفقى. إحسب أقصى وأقل ضغط له.
(اعتبر عجلة الجاذبية الأرضية 10 m/s^2)

الحل:

(أ) لحساب أقصى ضغط، يوضع الجسم على الوجه ذى المساحة الأقل، وهو الوجه الذى أبعاده $(5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm})$.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{5 \times 10 \times 20 \times 10^{-6} \times 5000 \times 10}{5 \times 10 \times 10^{-4}} = 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

(ب) لحساب أقل ضغط، يوضع الجسم على الوجه ذى المساحة الأكبر، وهو الوجه الذى أبعاده $(10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm})$.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{5 \times 10 \times 20 \times 10^{-6} \times 5000 \times 10}{10 \times 20 \times 10^{-4}} = 2500 \text{ N/m}^2$$

٢- أوجد الضغط الكلى وكذلك القوى الضاغطة الكلية المؤثرة على قاع حوض به ماء مالح كثافته 1030 kg/m^3 إذا كانت مساحة مقطع الحوض 1000 cm^2 وارتفاع الماء به واحد متر، وكان سطح الماء فى الحوض معرضا للهواء الجوى، وعجلة الجاذبية 10 m/s^2 والضغط الجوى $1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

الحل:

(أ) الضغط الكلى:

$$\begin{aligned} P &= P_a + \rho g h \\ &= 1.013 \times 10^5 + 1030 \times 10 \times 1 \\ &= (1.013 + 0.103) \times 10^5 = 1.116 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

(ب) القوة الضاغطة الكلية:

$$\begin{aligned} F &= P \times A = 1.116 \times 10^5 \times 1000 \times 10^{-4} \\ &= 1.116 \times 10^4 \text{ N} \end{aligned}$$

٣- استخدم مانومتر زئبقي لقياس ضغط غاز داخل مستودع، فكان سطح الزئبق في الفرع الخالص أعلى من سطحه بالفرع المتصل بالمستودع بمقدار 36cm

ما قيمة ضغط الغاز المحبوس بوحدات (أ) cmHg (ب) Atm (ج) N/m^2

علما بأن الضغط الجوي $0.76 \text{ m.Hg} = 1.013 \times 10^5 N/m^2$

الحل:

(أ) بوحدات cmHg:

$$P = P_a + h = 76 + 36 = 112 \text{ cm Hg}$$

(ب) بوحدات (Atm):

$$P = \frac{(P \text{ cm Hg})}{76} = \frac{112}{76} = 1.474 \text{ Atm}$$

(ج) بوحدات N/m^2 :

$$P = 1.474 \times 1.013 \times 10^5 = 1.493 \times 10^5 N/m^2$$

٤ - انبوبة على هيئة حرف U مساحة مقطع فرعها الضيق 1 cm^2 ومساحة مقطع فرعها الواسع 2 cm^2 ملئت جزئياً بالماء (كثافته 1000 kg/m^3)، ثم صب فيها كمية من الزيت (كثافته 800 kg/m^3) من الفرع الضيق حتى أصبح طول عمود الزيت 5 cm إحسب إرتفاع سطح الماء فوق السطح الفاصل بين الماء والزيت.

الحل:

$$\therefore P = \rho_o g h_o = \rho_w g h_w$$

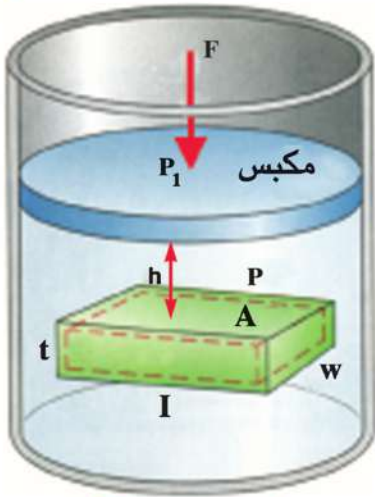
$$\therefore \rho_o h_o = \rho_w h_w$$

$$h_w = \frac{\rho_o h_o}{\rho_w} = \frac{800 \times 5}{1000} = 4 \text{ cm}$$

ملحوظة:

نصف قطر الأنبوبة (أو مساحتها مقطوعها) لا يؤثر إطلاقاً على إرتفاع كل من السائلين في فرع الأنبوبة، من ذلك يتضح أن مستوى السائل في الإناء لا يتأثر بشكل الإناء.

قاعدة باسكال Pascal's Principle



شكل (٣-١٣)

زيادة الثقل على المكبس تزيد
الضغط في السائل

إذا أخذنا أحد السوائل في إناء زجاجي كالمبين بالشكل (٣-١٣) مزود بمكبس في أعلاه، يكون الضغط عند نقطة مثل A في باطنه على عمق h هو $P = P_1 + hpg$ ، حيث P_1 الضغط عند سطح السائل (تحت المكبس مباشرة). وينتج عن الضغط الجوي والضغط الناشئ عن وزن المكبس أو قوة المكبس.

وإذا زدنا الضغط على المكبس بمقدار ΔP وذلك بوضع ثقل إضافي على المكبس- نلاحظ عدم تحرك المكبس إلى الداخل لعدم قابلية السائل للانضغاط. لكن الضغط عند سطح السائل تحت المكبس مباشرة سيزداد بدوره بمقدار ΔP ، وسيزداد الضغط عند نقطة A التي تقع على عمق h تحت هذا السطح بدوره بمقدار ΔP ،

$$P = P_1 + hpg + \Delta P$$

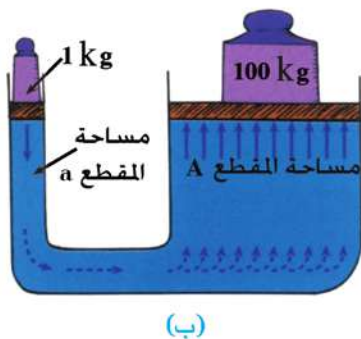
فإذا زاد الضغط إلى حد معين يمكن أن ينكسر الإناء.

ولقد قام العالم الفرنسي باسكال بصياغة هذه النتيجة كما يلي:

«عندما يؤثر ضغط على سائل محبوس في إناء فإن الضغط ينتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل كما ينتقل إلى جدار الإناء المحتوى على السائل». ويعرف هذا بمبدأ باسكال أو قاعدة باسكال.

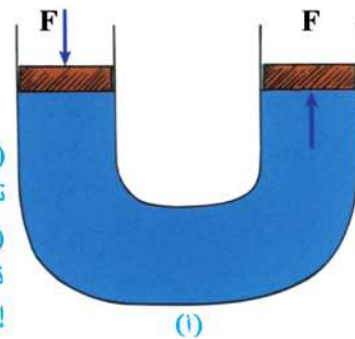
تطبيق على قاعدة باسكال: المكبس الهيدروليكي Hydraulic Press

توجد عدة تطبيقات تعتمد على قاعدة باسكال ومنها المكبس الهيدروليكي وفرامل السيارات. يتركب المكبس الهيدروليكي كما في الشكل (٣-١٤) من المكبس الصغير ومساحة مقطعه (a) والمكبس الكبير ومساحة مقطعه (A) ويمتلئ الحيز بين المكبسين بسائل مناسب.



شكل (٣-١٤)

المكبس الهيدروليكي
(أ) قوة على الجانب الأيسر من السائل تنتقل إلى الجانب الأيمن.
(ب) ثقل 1 kg على الجانب الأيسر يولد قوة تتزن مع 100 kg على الجانب الأيمن إذا كانت نسبة المساحتين A, a هي 1:100



فاذا تأثر المكبس الصغير بضغط P ، يتأثر السائل بدوره بنفس الضغط .
وينتقل هذا الضغط P بتمامه خلال السائل إلى السطح السفلي للمكبس الكبير .
وأذا فرضنا أن القوة المؤثرة على المكبس الصغير (f) والقوة المؤثرة على المكبس الكبير (F) ، ونظرًا
لأن الضغط المؤثر على المكبسين له نفس القيمة عند الإتزان في مستوى أفقى واحد فإن:

$$P = \frac{f}{a} = \frac{F}{A}$$

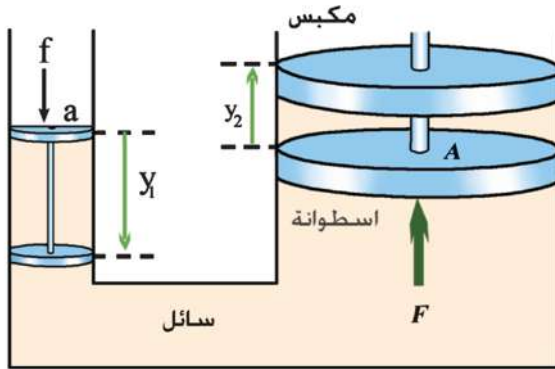
$$F = \frac{A}{a} f \quad (3-9)$$

ومن العلاقة السابقة يتضح أنه عندما تؤثر قوة (f) على المكبس الصغير تتولد على المكبس الكبير قوة أكبر هي القوة (F) . والفائدة الآلية Mechanical Advantage للمكبس الهيدروليكي ويرمز لها بالرمز η هي:

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} \quad (3-10)$$

أى أن الفائدة الآلية للمكبس الهيدروليكي تتعين بنسبة مساحة المكبس الكبير إلى مساحة المكبس

الصغير.



شكل (٣ - ١٥)

الفائدة الآلية

وبالرجوع إلى الشكل (٣-١٥) يتضح أنه:

إذا حرك المكبس الصغير إلى أسفل مسافة y_1
تحت تأثير f فإن المكبس الكبير يتحرك إلى أعلى مسافة y_2
تحت تأثير F . وتبعا لقانون بقاء الطاقة يكون الشغل
المبدول واحداً في الحالتين، وبفرض أن المكبس مثالي
وكفاءته (100%) .

$$f y_1 = F y_2$$

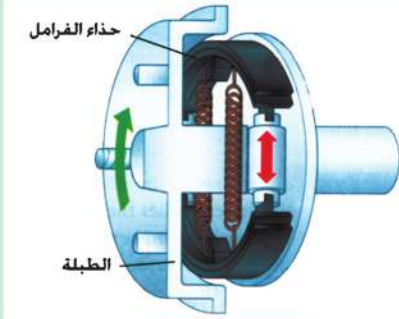
$$\frac{f}{F} = \frac{y_2}{y_1}$$

$$F = \frac{y_1}{y_2} f \quad (3-11)$$

وهذا يدل على أن الفائدة الآلية للمكبس يمكن أيضاً التعبير عنها بالنسبة $\frac{y_1}{y_2}$

معلومة إثرائية

تطبيقات على قاعدة باسكال



شكل (٣-١٦)

الفرامل الخلفية

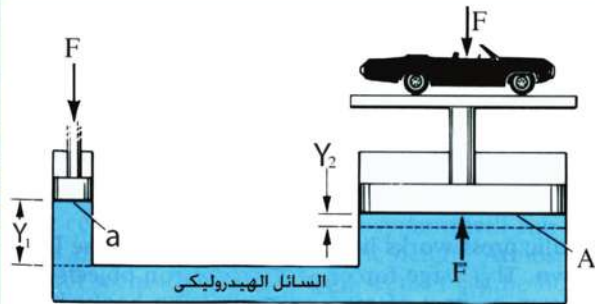


شكل (٣-١٧)

الفرامل الأمامية

١- تستخدم الفرملة الهيدروليكية Hydraulic Brake للسيارة قاعدة باسكال، حيث يستخدم نظام الفرملة سائلاً وسيطاً Brake Fluid. وعند الضغط على دواسة الفرملة بقوة بسيطة ومسافة كبيرة نسبياً، تنشأ قوة كبيرة على المكبس في اسطوانة الفرملة العمومية Master Brake Cylinder. وينتقل هذا الضغط إلى السائل، ومن ثم إلى باقي خط الفرملة، ثم إلى مكابس اسطوانات فرملة العجل Wheel Cylinder إلى الخارج، ومن ثم على حذاء الفرملة Brake Shoes، ثم إلى جسم الفرملة Brake Drum. فتنشأ قوة احتكاك كبيرة توقف العجلة وبالتالي السيارة، ويسمى هذا النوع من الفرامل Drum Brake وهي الفرملة الخلفية (شكل ٤-١٦). أما في حالة الفرملة الأمامية والتي تستخدم نظام القرص Disk Brake (شكل ٤-١٧) فإن القوى الناشئة عن الفرملة تضغط على مخدات الفرامل Brake Pads، وينشأ عن ذلك احتكاك يوقف العجلة. ويلاحظ أن المسافة التي يتحركها حذاء الفرملة في الحالتين صغيرة لأن القوة كبيرة.

٢- في تطبيق آخر لقاعدة باسكال يستخدم الرافعة الهيدروليكية Hydraulic Lift سائلاً لرفع السيارة في محطات البنزين (شكل ٤-١٨).



شكل (٣-١٨)

الرافعة الهيدروليكية



شكل (٣ - ١٩)

الحفار الهيدروليكي

٣- الحفار الهيدروليكي Caterpillar يعتمد على قاعدة باسكال (شكل ٤-١٩)

٤- يلبس الغواص بدلة الغطس. وخوذة تحميه من الضغط في الأعماق الكبيرة. وفي الأعماق القليلة يلجأ إلى نفخ الهواء في جيوبه الأنفية لمعادلة الضغط الخارجي (شكل ٤-٢٠). وفي الأعماق الكبيرة فإن بدلة الغطس تنفخ بالهواء وتحمي الخوذة رأس الغواص من الضغط الشديد (شكل ٤-٢١).



شكل (٣ - ٢١)

الغوص على أعماق كبيرة (٥٠٠ متر)



شكل (٣ - ٢٠)

الغوص على أعماق قريبة من السطح

مثال:

مكبس مائي مساحة مقطع مكبسه الصغير 10cm^2 تؤثر عليه قوة 100N ومساحة مقطع مكبسه الكبير 800cm^2 فإذا علمت أن عجلة الجاذبية الأرضية 10m/s^2 احسب:

- (أ) أكبر كتلة يمكن رفعها بواسطة المكبس الكبير.
 (ب) الفائدة الآلية للمكبس.
 (ج) المسافة التي يتحركها المكبس الصغير ليتحرك المكبس الكبير بمقدار 1cm .

الحل:

$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A}$$

$$F = \frac{100}{10} \times 800 = 8 \times 10^3 \text{ N}$$

القوة المؤثرة على المكبس الكبير

(أ) أكبر كتلة يمكن رفعها بواسطة المكبس الكبير.

$$m = \frac{F}{g} = \frac{8 \times 10^3}{10} = 800 \text{ kg}$$

(ب) الفائدة الآلية للمكبس.

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} = \frac{800}{10} = 80$$

(ج) المسافة التي يتحركها المكبس الصغير ليتحرك المكبس الكبير بمقدار 1cm.

$$fy_1 = F y_2$$

$$y_1 = \frac{8000 \times 1}{100} = 80 \text{ cm}$$

تلخيص

أولاً: التعاريف والمفاهيم الأساسية:

- الكثافة (ρ): هي كتلة وحدة الحجم من المادة ووحدتها (kg/m^3).
- الضغط عند نقطة (P):
- القوة المؤثرة عمودياً على وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة (N/m^2).
- جميع النقط التي في مستوى أفقى واحد في سائل ساكن يكون لها نفس الضغط.
- الضغط الجوى المعتاد: هو الضغط الناشئ عن وزن عمود الهواء المؤثر على وحدة المساحات عند نقطة معينة عند سطح البحر. وهو يكافئ الضغط الناشئ عن وزن عمود من الزئبق إرتفاعه حوالى 0.76m ومساحة مقطعه واحد متر مربع عند درجة 0°C .
- وحداته باسكال (N/m^2) أو بار (Bar) أو 10^5 N/m^2 أو mm Hg (Torr)
- المانومتر: جهاز يستخدم لقياس الفرق بين ضغط غاز محبوس في إناء والضغط الجوى.
- قاعدة باسكال:
- عندما يؤثر ضغط على سائل محبوس فإن الضغط ينتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل كما ينتقل إلى جدران الإناء المحتوى على السائل.

ثانياً: القوانين والعلاقات الهامة:

$$\rho = \frac{m}{V_{ol}}$$

$$\text{الكثافة } (\rho) = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

$$P = \frac{F}{A}$$

$$\text{الضغط } (P) = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$$

- الضغط عند نقطة في باطن سائل كثافته ρ معرض للهواء على عمق h من سطحه.

$$P = P_a + \rho gh$$

حيث P_a الضغط الجوى، g عجلة الجاذبية الارضية.

● إيزان السوائل فى أنبوبة ذات شعبتين $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$.

$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A} \quad \text{المكبس الهيدروليكي}$$

حيث f القوة المؤثرة على المكبس الصغير الذى مساحته مقطعه a ، F القوة المؤثرة على المكبس

الكبير الذى مساحته مقطعه A

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} \quad \text{● الفائدة الآلية}$$

● لتعيين المسافة التى يتحركها المكبس الكبير y_2 بدلالة المسافة التى يتحركها المكبس الصغير y_1

نستخدم العلاقة: $fy_1 = Fy_2$

أسئلة وتمارين

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة:

١ - العوامل التالية تؤثر على الضغط الواقع على قاع إناء ماعدا

- (أ) عمق السائل في الإناء.
(ب) كثافة السائل.
(ج) عجلة الجاذبية الأرضية
(د) الضغط الجوي.
(هـ) مساحة قاعدة الإناء

٢ - أي العوامل الآتية لا تؤثر على ارتفاع عمود الزئبق في البارومتر:

- (أ) كثافة الزئبق
(ب) مساحة سطح الأنبوبة.
(ج) الضغط الجوي
(د) عجلة الجاذبية الأرضية.
(هـ) درجة حرارة الزئبق.

٣ - يعتمد ضغط المياه الموجود عند قاع بحيره السد العالي المؤثر على جسم السد على:

- (أ) مساحة سطح المياه
(ب) طول السد.
(ج) عمق المياه
(د) سمك حائط السد.
(هـ) كثافة مادة الحائط.

٤ - إذا كانت النسبة بين نصفى قطر المكبسين الأسطوانيين فى المكبس المائى هى 9:2 تكون النسبة

بين القوتين على المكبسين تساوى:

- (أ) 9:2
(ب) 2:9.
(ج) 4:18
(د) 4:81.
(هـ) 4:81.

ثانیاً : عرف کلاماً یأتی :

١ - الكثافة

٢- الضغط عند نقطة

٣- قاعدة باسكال

ثالثاً : أسئلة المقال :

١- اثبت أن الضغط P عند أي نقطة في باطن سائل على عمق h يتعين من العلاقة

$$P = P_0 + \rho gh$$

حيث P_3 الضغط الحوي ، ρ كثافة السائل ، g عجلة الجاذبية الأرضية.

٢- صف المانومتر و اشرح طريقة عمله في قياس ضغط غاز في مستودع.

٣- ما المقصود بقاعدة باسكال؟ اشرح أحد تطبيقاتها.

رابعاً : تمارين :

١- إذا كان الضغط على قاع إناء اسطوانى به زيت هو $15 \times 10^3 \text{N/m}^2$ احسب القوة الكلية المؤثرة على قاعدة الإناء إذا كان قطر القاعدة 8m ($7.54 \times 10^4 \text{N}$)

٢- مطلوب لإطار سيارة فرق ضغط قدره $3.039 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ فإذا كان الضغط الحوى

$1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ فأوجد الضغط داخل إطار السيارة بوحدة الضغط الجوي (4 Atm)

٣- قاعدة حوض أسماك مساحتها 1000cm^2 وكان الحوض يحتوى على ماء وزنه 4000 N احسب ضغط الماء على قاع الحوض.

٤- المكبسـان الصغير والكبير فى مكبس هيدروليكي قطـرهما 2cm ، 24cm على الترتيب تولدت قوة مقدارها 2000 N على المكبس الكبير . احسب القوة المؤثرة على المكبس الصغير، وكذلك الفائدة الآلية للمكبس.

٥- إذا كان الضغط الجوي عند سطح ماء في بحيرة هو 1 Atm ، ما عمق البحيرة إذا كان الضغط عند قاعها 3 Atm ؟ علماً بأن كثافة الماء 1000 kg/m^3 وأن الضغط الجوي يعادل $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ وعجلة الجاذبية 9.8 m/s^2 (20.673 m)

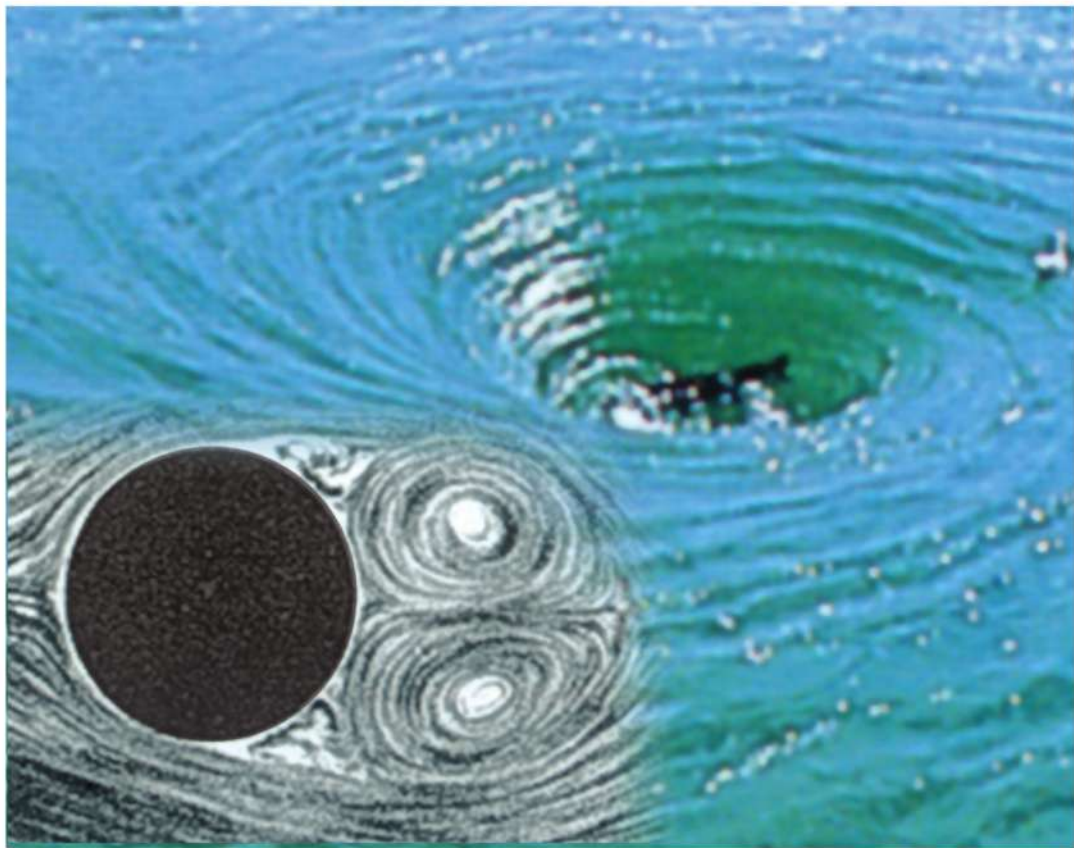
٦- يحمل رجل بارومتر زئبقي قراءته عند الطابق الأرضي 76 cm Hg وعند الطابق العلوي 74.15 cm Hg فإذا كان ارتفاع المبنى 200 m، فأحسب متوسط كثافة الهواء بين هذين الطابقين إذا علمت أن كثافة الزئبق 13600 kg/m^3 علماً بأن عجلة الجاذبية 9.8 m/s^2 (1.258 kg/m^3)

٧- مانومتر يحتوى على زئبق يتصل بمستودع به غاز محبوس. فإذا كان فرق الارتفاع بين سطحي الزئبق في الفرعين 25cm فأحسب فرق الضغط وكذلك الضغط المطلق للهواء المحبوس مقدراً بوحدة N/m^2 ، علماً بأن الضغط الجوي يعادل $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ وعجلة الجاذبية الأرضية 9.8 m/s^2 وكثافة الزئبق 13600 kg/m^3

($0.3332 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ ، $1.3462 \times 10^5 \text{ N/m}^2$)

خواص الموائع

تجربة الوحدة



الفصل الرابع: خواص الموائع المتحركة

الفصل الرابع

خواص الموائع المتحركة

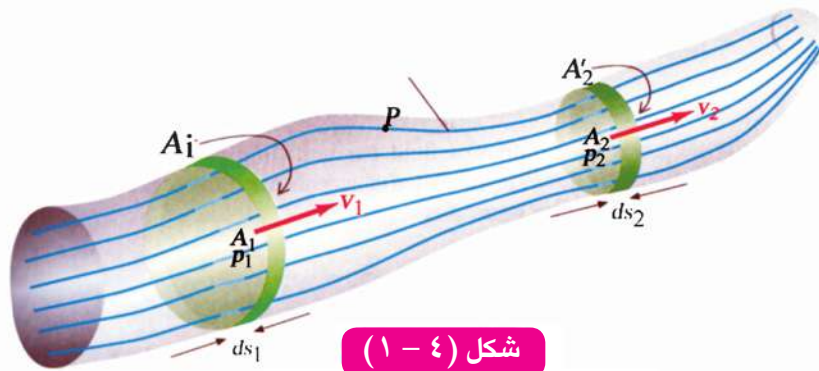
المقدمة:

نتحول الآن من دراسة الموائع الساكنة إلى دراسة الموائع المتحركة *Hydrodynamics*.

ينبغي أن نميز بين نوعين من سريان الموائع، السريان الهادئ، والسريان المضطرب.

السريان الهادئ *Steady Flow*

عندما يتحرك سائل ما بحيث تنزلق طبقاته المتجاورة في نعومة ويسر يقال إن السائل يسرى سرياناً طبقياً أو سرياناً إنسيابياً. والسريان الطبقي *Laminar Flow* أو (الانسيابي) يسمى السريان الهادئ *Streamline Flow* أو المستقر *Steady Flow*، ويتميز هذا النوع من الانسياب بأن كل كمية صغيرة من السائل تتبع أو تتخذ مساراً متصلاً يسمى خط الانسياب *Streamline*. وعلى هذا الأساس يمكننا تصور سريان السائل في أنبوبة حقيقية أو افتراضية برسم مجموعة من خطوط الانسياب *Streamlines*، وذلك بتتبع مسارات أجزاء السائل المختلفة كما في الشكل (٤-١)، وأهم ما يميز خطوط الانسياب أنها لا تتقاطع، كما أن المماس لأي نقطة على خط الانسياب يحدد اتجاه السرعة اللحظية لكل كمية صغيرة من السائل عند تلك النقطة. ويحدد عدد خطوط الانسياب التي تمر عمودياً بوحدة المساحات عند نقطة معينة (كثافة خطوط الانسياب) سرعة سريان السائل عند تلك النقطة. ولهذا تتزاحم خطوط الانسياب في السرعات الكبيرة وتتباعد في السرعات المنخفضة.



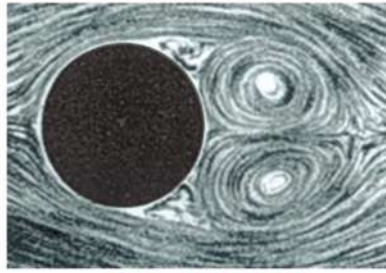
شكل (٤ - ١)

خطوط الانسياب *Streamlines*

شروط السريان الهادئ :

- ١- أن يكون معدل سريان السائل ثابتاً على طول مساره لأن السائل غير قابل للانضغاط وكثافة السائل لا تتغير مع المسافة أو الزمن.
- ٢- في السريان الهادئ Steady Flow لا تتوقف سرعة السائل عند كل نقطة على الزمن.
- ٣- السريان غير دوار Irrotational أى أنه لا توجد دوامات Vortex Flow.
- ٤- لا توجد قوى احتكاك بين طبقات السائل Nonviscous.

السريان المضطرب :



شكل (٢ - ٤)

الدوامات نتيجة تدفق السائل بعنف أو حركة جسم فيه بسرعة

شكل (٣ - ٤)

يتحول الدخان من حركة إنسيابية إلى حركة مضطربة

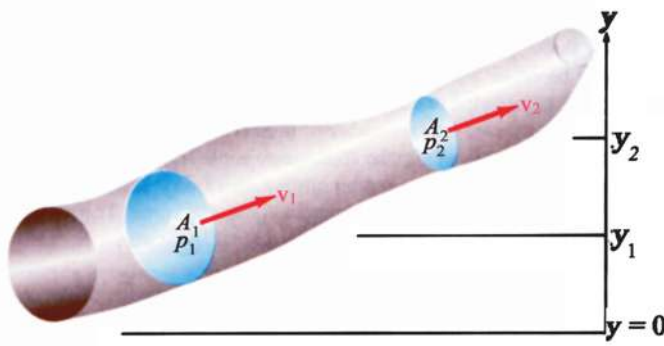
وإذا زادت سرعة انسياب السائل عن حد معين يتحول السريان الهادئ إلى سريان مضطرب Turbulent Flow ويتميز بوجود دوامات صغيرة دائرية Vortices (شكل ٢-٤). ويحدث نفس الشيء بالنسبة للغازات أيضاً. فإنه نتيجة انتشار الغاز من حيز صغير إلى حيز كبير ومن ضغط عال إلى ضغط أقل فإنه يتحرك حركة دوامية (شكل ٣-٤).

معدل السريان ومعادلة الاستمرارية :

سنقتصر هنا على دراسة السريان الهادئ الذى يمكن وصفه كما يلي :

نتصور أنبوبة سريان Flow Tube بحيث:

- ١- يملأ السائل الأنبوبة تماماً.
- ٢- تكون كمية السائل التى تدخل إلى الأنبوبة عند أحد طرفيها مساوية لكمية السائل التى تخرج منها عند الطرف الآخر فى نفس الزمن، نظراً لأن السائل غير قابل للانضغاط.
- ٣- لا تتغير سرعة سريان السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة مع الزمن. وتوجد علاقة تربط معدل سريان السائل بسرعه ومساحة مقطع الأنبوبة، وتسمى هذه العلاقة معادلة الاستمرارية Continuity Equation . ولإدراك ما نعنيه بمعادلة الاستمرارية، نختار مستويين عموديين على خطوط الانسياب عند مقطعين كما فى شكل (٤-٤)، مساحة مقطع المستوى الأول A_1 ومساحة مقطع المستوى الثانى A_2 ، ويكون حجم السائل المنساب خلال المساحة A_1 فى وحدة الزمن (معدل الانسياب الحجمى) هو $Q_v = A_1 v_1$



شكل (٤ - ٤)

نموذج لاستنتاج معادلة الاستمرارية

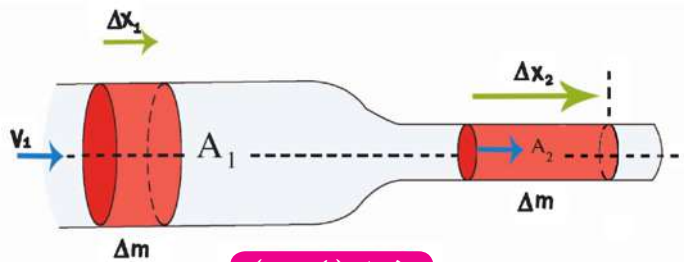
$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \quad (4-1)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

(4-2) وهذه هي معادلة الاستمرارية، أى أن

ومن هذه العلاقة (4-2) نتبين أن سرعة السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة تتناسب عكسيا مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة. فالسائل ينساب ببطء شديد فى الأنبوبة عندما تكون مساحة مقطعها كبيرة



شكل (٥ - ٤)

أساس معادلة الاستمرارية

(A1)، وينساب بسرعة أكبر عندما تكون

مساحة مقطعها صغيرة (A2) (شكل ٤-٥).

ولفهم معادلة الاستمرارية أكثر

نتصور أن لدينا سائلاً، ونعتبر كتلة صغيرة

منه Δm، هذه الكتلة هي Δm = ρΔV_{ol}

حيث (A1Δx1 = ρΔV_{ol}) بينما Δx1 هي

المسافة التى يتحركها السائل فى زمن Δt

أى Δx1 = v1Δt، وبذلك يكون، لابد أن ينتقل

نفس هذا الحجم فى الجانب الآخر من الأنبوبة لأن السائل غير قابل للانضغاط أى أن ΔV_{ol} = A2v2Δt، ومن

ثم ينبغى التأكيد هنا على أن معدل الانسياب للسائل هو معدل انسياب حجمى Qv ووحدته (m³/s) أو معدل

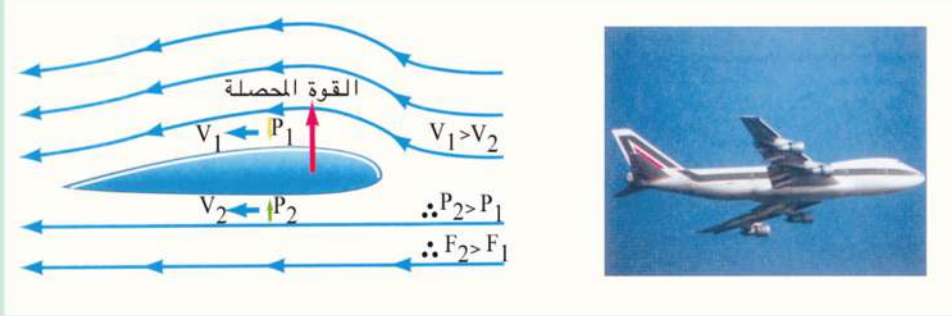
انسياب كتلى Qm ووحدته (kg/s) وكلاهما مقدار ثابت عند أى مساحة مقطع. وهذا يسمى قانون بقاء الكتلة

Conservation of Mass والذي يؤدي إلى معادلة الاستمرارية.

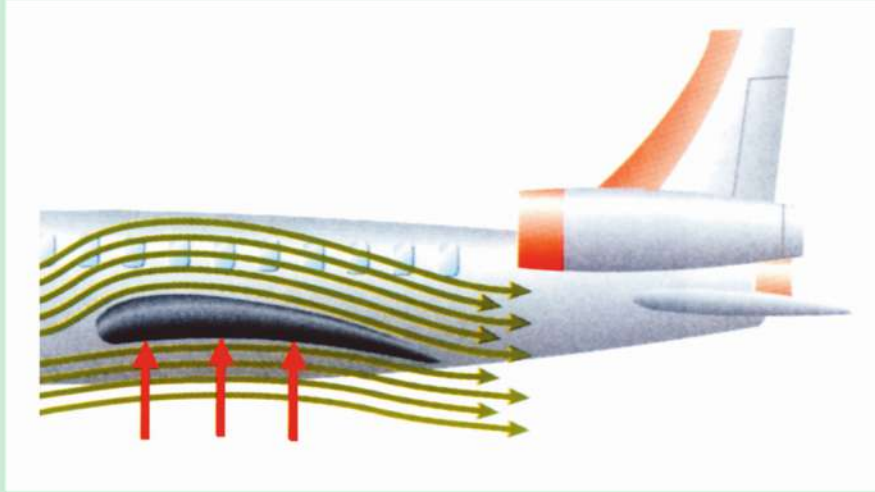
معلومة إثرائية

لماذا تطير الطائرة ولا تسقط ؟

حركة الطائرة تؤدي إلى تكون منطقة فوق الجناحين يكون فيها الضغط أقل مما هو تحت الجناحين فتنشأ قوة دفع لأعلى تتزن مع وزن الطائرة (شكل ٥-٧) . وهذه الظاهرة تسمى ظاهرة برنولي *Bernoulli's effect*



(ب) توجد منطقة خلخلة في الضغط فوق الجناح



(ج) القوة الناتجة عن فرق الضغط تدفع الطائرة لأعلى

شكل (٤ - ٧)

كيف تطير الطائرة

أمثلة :

١- تدخل أنبوبة مياه قطرها 2 cm منزلا وسرعة سريان الماء بها 0.1 m/s، ثم يصبح قطرها 1 cm احسب :

(أ) سرعة الماء في الجزء الضيق.

(ب) كمية الماء (حجمه وكتلته) التي تنساب كل دقيقة خلال أى مقطع من مقاطع الأنبوبة (إذا كانت

كثافة الماء = 1000 kg/m^3)

الحل :

(أ) نعلم أن $A_1 v_1 = A_2 v_2$

$$\pi (0.01\text{m})^2 (0.1 \text{ m/s}) = \pi (0.005\text{m})^2 v_2$$

$$v_2 = \frac{\pi \times 10^{-4} \times 0.1}{\pi \times 2.5 \times 10^{-5}} = 0.4 \text{ m/s}$$

(ب) معدل الحجم المنساب يتعين من العلاقة :

$$Q_v = A_1 v_1 \text{ أو } A_2 v_2$$

$$= \pi \times 10^{-4} \times 0.1 \text{ أو } \pi \times 2.5 \times 10^{-5} \times 0.4$$

$$= 3.14 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

وبذلك يكون الحجم المنساب فى دقيقة هو :

$$\dot{V}_{ol} = Q_v \times 60 = 3.14 \times 10^{-5} \times 60 = 188.4 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{min}$$

معدل الكتلة المنسابة (كثافة الماء = 1000 kg/m^3)

$$\rho Q_v = \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2$$

$$= 3.14 \times 10^{-5} \times 10^3 = 3.14 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$$

الكتلة المنسابة فى دقيقة :

$$M' = 3.14 \times 10^{-5} \times 10^3 \times 60 = 1.884 \text{ kg/min}$$

٢- تكون السرعة المتوسطة لتدفق الدم فى الأورطى لشخص بالغ نصف قطره = 0.7 cm هى

0.33 m/s، ومن الأورطى يتوزع الدم على عدد من الشرايين الرئيسية (نصف قطر كل منها 0.35 cm) فإذا

كان عدد الشرايين الرئيسية 30 فاحسب سرعة الدم فيها.

الحل:

$$A_1 = \pi r_1^2 = \pi (0.007)^2 \text{ m}^2 \quad \text{مساحة مقطع الأورطى}$$

$$A_2 = \pi r_2^2 \times 30 \quad \text{مساحة مقطع الشرايين الرئيسية الثلاثين}$$

$$= \pi (0.0035)^2 \times 30 \text{ m}^2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\pi (0.007)^2 (0.33) = \pi (0.0035)^2 (30) v_2$$

$$v_2 = \frac{4 \times 0.33}{30} = 0.044 \text{ m/s}$$

أى أن سرعة الدم فى الشرايين الرئيسية تساوى 0.044 m/s ، وبالتالى تكون سرعة الدم فى الشعيرات الدموية بطيئة جداً ، الأمر الذى يتيح حدوث عمليات تبادل غازى الأكسجين وثنانى أكسيد الكربون فى الأنسجة ، فضلاً عن تزويدها بالمواد الغذائية. وهنا تتجلى قدرة الله الخالق . «سبحانه وتعالى عما يشركون» صدق الله العظيم.

اللزوجة Viscosity :

يمكن إدراك معنى اللزوجة مما يلى :

١- نعلق قمعين متماثلين كلا فى حامل، ثم نضع أسفل كل منهما كأساً فارغة، نصب فى أحد القمعين حجماً معيناً من الكحول، ونصب فى الآخر حجماً مماثلاً من الجليسرين. ونلاحظ سرعة انسياب كل من السائلين.

نجد أن سرعة إنسياب الكحول أكبر من سرعة إنسياب الجليسرين، أو بعبارة أخرى، تكون قابلية الكحول للإنسياب أكبر من قابلية الجليسرين لذلك.

٢- نأخذ كأسين متماثلين يحتوى أحدهما على حجم معين من الماء، وتحتوى الأخرى على حجم مساوٍ من العسل. نقلب السائل فى كل من الكأسين بساق من الزجاج. ونلاحظ فى أى السائلين تكون حركة الساق أسهل. ثم نخرج الساق من السائل ونلاحظ حركة كل من السائلين بعد إخراج الساق نجد أن :

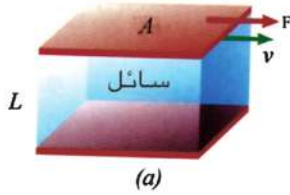
أ - تتحرك الساق في الماء بسهولة أكبر مما يدل على أن مقاومة الماء لحركة ساق الزجاج أقل من مقاومة العسل لها.

ب - تتوقف حركة العسل بعد إخراج الساق بفترة وجيزة في حين تستمر حركة الماء فترة أكبر.

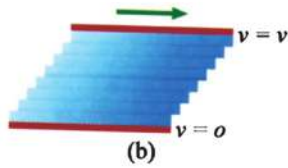
٣- نأخذ مخبارين متماثلين طويلين ، ونملأ المخبار الأول حتى قرب فوهته بالماء، والثاني حتى قرب فوهته بالجليسرين، ثم نأخذ كرتين معدنيتين متماثلتين (من الصلب مثلاً) ونلقى إحداهما برفق في الماء، ونعين بواسطة ساعة إيقاف الزمن الذي تستغرقه الكرة لتصل إلى قاع المخبار. ونلقى الأخرى برفق في الجليسرين، ونعين الزمن الذي تستغرقه لتصل إلى قاع المخبار.

نجد أن الزمن الذي تستغرقه الكرة لتصل إلى قاع المخبار خلال الماء أقل من الزمن الذي تستغرقه كرة مماثلة لتصل إلى قاع المخبار خلال الجليسرين، مما يدل على أن الجليسرين يقاوم حركة الكرة بمقدار أكبر من مقاومة الماء لها.

ومما سبق يمكن استخلاص ما يلي :



(أ) قوة تؤثر على الطبقة العليا للسائل



(ب) طبقات السائل تنزلق بالنسبة لبعضها

شكل (٤ - ٦)

الاحتكاك بين طبقات السائل

١- بعض السوائل كالماء، والكحول تكون قابليتها للإنسياب أو الحركة كبيرة في حين أن مقاومتها لحركة الجسم فيها صغيرة وهي ذات لزوجة صغيرة.

٢- بعض السوائل كالعسل والجليسرين تكون قابليتها للإنسياب أو الحركة صغيرة في حين أن مقاومتها لحركة الأجسام فيها كبيرة وهي ذات لزوجة عالية.

ولتفسير خاصية اللزوجة نتصور كمية من السائل محصورة بين لوحين مستويين أحدهما ساكن أما الآخر فيتحرك بسرعة v (شكل ٥-٦). طبقة السائل الملاصق للوح الساكن يكون ساكناً بينما يتحرك طبقة السائل الملاصق للوح

المتحرك بنفس سرعته وهي v ، وتتحرك طبقات السائل بين اللوحين بسرعات تتراوح من الصفر إلى v تتزايد من اللوح الساكن إلى اللوح المتحرك، حيث تكون سرعة كل طبقة أقل من سرعة الطبقة التي تعلوها، ويرجع هذا الاختلاف النسبي في السرعة إلى ما يلي :

(أ) توجد قوى احتكاك بين السطح المستوى للوح السفلى وطبقة السائل الملاصقة له. وتعزى هذه القوى إلى التلاصق بين جزيئات سطح المستوى الصلب وجزيئات السائل المجاور لها مباشرة، فتمسك بها وتعوق إنسيابها، فتبدو هذه الطبقة ساكنة عديمة الحركة، ولنفس السبب تتحرك الطبقة العليا للسائل بنفس سرعة اللوح العلوى.

(ب) توجد قوى شبيهة بقوى الإحتكاك بين كل طبقة من طبقات السائل والطبقة التى تعلوها، فتعوق انزلاق بعضها فوق بعض، مما ينشأ عنه فرق نسبى فى السرعة بين كل طبقة والتى تعلوها، ويسمى هذا النوع منه السريان السريان الطبقي Laminar Flow أو السريان اللزج Viscous Flow. واللزوجة هى تلك الخاصية التى تتسبب فى وجود مقاومة أو احتكاك بين طبقات السائل بحيث تعوق انزلاق بعضها فوق بعض.

معامل اللزوجة :

بالرجوع إلى الشكل (٤-٦) نجد أنه لكى يحتفظ اللوح المتحرك بسرعة ثابتة، فلا بد من وجود قوة مماسية (F). هذه القوة تتناسب طرديا مع كل من السرعة (v) ومساحة اللوح المتحرك (A) وتتناسب عكسيا مع المسافة الفاصلة بين اللوحين (d)

$$F \propto \frac{Av}{d}$$

وبالتالى يكون

$$F = \eta_{vs} \frac{Av}{d} \quad (4-3)$$

حيث η_{vs} (إيتا) ثابت التناسب ويعرف بمعامل اللزوجة.

$$\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av} = \frac{F}{Av/d} \quad (4-4)$$

ويمكن من هذه العلاقة تعريف معامل اللزوجة كما يلى :

معامل اللزوجة لسائل : هو القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحات، ينتج عنها فرق فى السرعة مقداره وحدة السرعة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما وحدة المسافة.

ووحده kg/ms أو N s/m^2

تطبيقات لخاصية اللزوجة :

لللزوجة تطبيقات كثيرة منها :

أ - التزييت والتشحيم :

ينبغي تشحيم أو تزييت الآلات المعدنية من وقت لآخر حيث تؤدي عملية التشحيم إلى :

١ - نقص كمية الحرارة المتولدة أثناء الاحتكاك.

٢ - حماية أجزاء الآلة من التآكل.

وتتم عملية التزييت باستخدام أنواع من الزيوت تتميز بلزوجتها الكبيرة، إذ أننا لو استخدمنا الماء في عملية التزييت وهو من المواد ذات اللزوجة الصغيرة فإنه سرعان ما ينساب بعيداً عن أجزاء الآلة لضعف قوة التصاقه بها أثناء حركتها. لذلك كان من الطبيعي أن نستخدم سوائل تتميز بقدرتها على الالتصاق بأجزاء الآلة وعدم انسيابها بسرعة رغم الحركة الدائبة لتلك الأجزاء، ومن هنا كانت ضرورة استخدام مواد ذات لزوجة كبيرة في عملية التزييت.

(ب) المركبات المتحركة :

عندما تبلغ السيارة سرعتها القصوى، فإن الشغل الكلي الذي تبذله الآلة والمستمد من الوقود المستهلك يعمل معظمه ضد مقاومة الهواء للسيارة أثناء حركتها خلاله، وأيضاً ضد قوة الإحتكاك بين إطارات السيارة والأرض. وفي السرعات الصغيرة نسبياً أو المتوسطة فإن مقاومة الهواء للأجسام المتحركة فيه والناجمة عن لزوجة الهواء تتناسب طردياً مع سرعة الأجسام المتحركة خلاله. وعندما تزداد سرعة السيارة عن حد معين فإن مقاومة الهواء لا تتناسب مع سرعتها فقط وإنما مع مربع السرعة. ويعني هذا أن استهلاك الوقود يزداد معدله مع زيادة السرعة عن هذا الحد المذكور، ولذلك يلجأ قائد السيارة الخبير إلى الحد من سرعتها لتوفير استهلاك الوقود .

(ج) في الطب :

لقياس سرعة ترسيب الدم

من المعلوم أنه عند سقوط كرة سقوطاً حراً رأسياً في سائل فإنها تتأثر بثلاث قوى وهي : وزنها لأسفل، وقوة دفع السائل لها لأعلى، وقوة الإحتكاك بينها وبين السائل لأعلى نتيجة لزوجة السائل. وبحساب محصلة القوى وجد أنها تتحرك بسرعة نهائية تزداد بزيادة نصف قطرها.

ويمكن استخدام ذلك في الطب بأخذ عينة من الدم وقياس سرعة ترسيبها. وبذلك يمكن للطبيب معرفة إذا كان حجم كرات الدم طبيعياً أم لا. فعلى سبيل المثال، في حالة الإصابة بالحمى الروماتزمية فإنه يحدث زيادة في سرعة ترسيب الدم. وذلك نتيجة لالتصاق كرات الدم الحمراء ببعضها، فيزداد حجمها ونصف قطرها، وبالتالي تزداد سرعة الترسيب. أما في حالة الإصابة بالأنيميا فتقل سرعة الترسيب عن المعدل الطبيعي حيث يحدث تكسير لكرات الدم الحمراء فيقل حجمها ونصف قطرها.

تلخيص

أولاً : التعاريف والمفاهيم الأساسية :

- المائع، كل مادة قابلة للإنسياب ولا تتخذ شكلاً محدداً بذاته.
- الانسياب المستقر في الأنابيب يتطلب:
- (أ) يملأ السائل الأنبوبة تماماً.
- (ب) تكون كمية السائل التي تدخل الأنبوبة عند أحد طرفيها مساوية لكمية السائل التي تخرج منها عند الطرف الآخر في نفس الزمن.
- اللزوجة : هي الخاصية التي تتسبب في وجود مقاومة أو احتكاك بين طبقات السائل تعوق انزلاق بعضها فوق البعض.
- معامل اللزوجة : هو القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحات ينتج عنها فرق في السرعة مقداره الوحدة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما الوحدة. وحدة معامل اللزوجة $\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$

ثانياً : القوانين والعلاقات الهامة :

- حجم السائل المنساب بسرعة v خلال المساحة A في وحدة الزمن $Q = Av$
- معادلة الاستمرارية هي : $A_1 v_1 = A_2 v_2$
- معامل اللزوجة لمائع (η_{vs}) يتعين من العلاقة $\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av}$
- حيث F القوة المماسية بين طبقتين من السائل A مساحة الطبقة المتحركة، v سرعة الطبقة المتحركة، d المسافة الفاصلة بين الطبقتين الساكنة والمتحركة.

أسئلة وتمارين

أولاً - عرف كلاً مما يأتي :

- ١- المائع ٢- اللزوجة ٣- معامل اللزوجة

ثانياً - أسئلة المقال :

١- أثبت أن سرعة السائل عند أى نقطة فى الأنبوبة تتناسب عكسياً مع مساحة مقطع الأنبوبة عند تلك النقطة.

٢- اشرح ظاهرة اللزوجة.

٣- اشرح بعض التطبيقات لخاصية اللزوجة.

ثالثاً - التمارين :

١- يسرى ماء فى أنبوبة أفقية بمعدل ثابت $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ أحسب سرعة الماء خلال الأنبوبة إذا كان مساحة مقطعها 1 cm^2 (20 m/s)

٢- يمر ماء خلال أنبوبة من المطاط قطرها 1.2 cm بسرعة 3 m/s أحسب قطر فوهتها إذا كانت سرعة خروج الماء منها 27 m/s (0.4 cm)

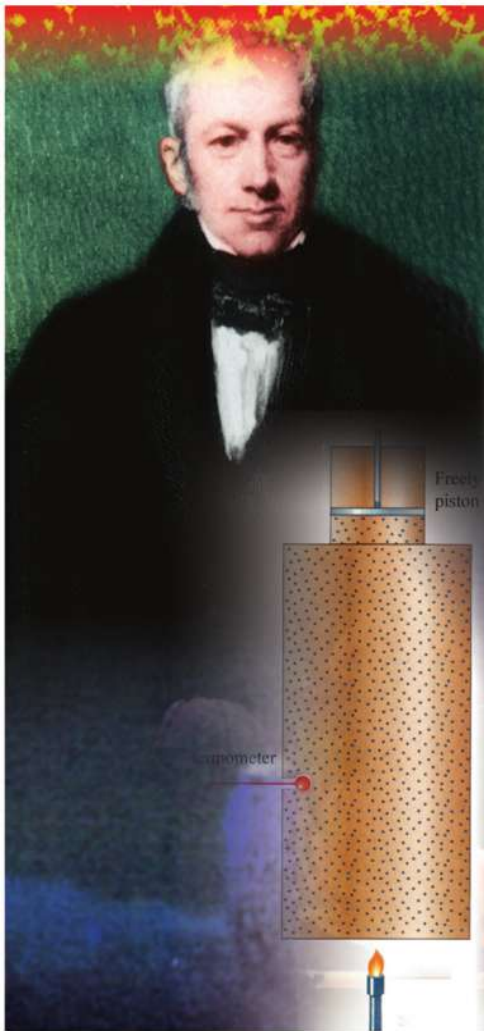
٣- شريان رئيسى يتشعب إلى 80 شعيرة نصف قطر كل منها 0.1 mm فإذا كان نصف قطر الشريان 0.035 cm وسرعة سريان الدم به 0.044 m/s احسب سرعة تدفق الدم فى كل شعيرة دموية (0.0067 m/s)

٤- مساحة مقطع أنبوبة عند نقطة مثل A تساوى 10 cm^2 وعند نقطة أخرى مثل B تساوى 2 cm^2 فإذا كانت سرعة الماء عند A تساوى 12 m/s أحسب سرعته عند B (60 m/s)

٥- مساحة مقطع أنبوبة مياه تدخل الطابق الأرضى هى $4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ، وكانت سرعة الماء 2 m/s عندما تضيق هذه الأنبوبة بحيث تصبح مساحة مقطعها فى النهاية $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ أحسب سرعة إنسياب الماء فى الطابق العلوى. (4 m/s)

الوحدة الثالثة

الحرارة



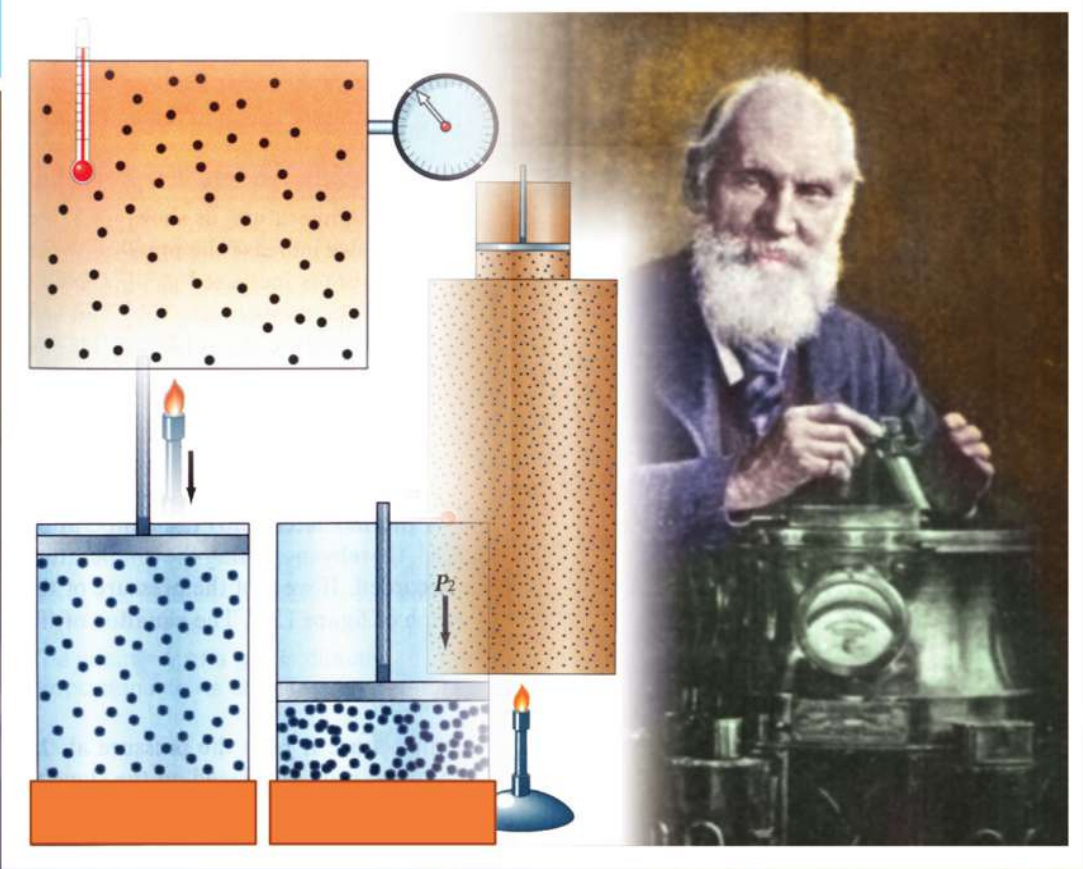
الفصل الخامس: قوانين الغازات

دار درويش الطباعة



الحرارة

الوحدة الثالثة



الفصل الخامس: قوانين الغازات

الفصل الخامس

قوانين الغازات

مقدمة :

يمكن إدراك أن جزيئات الغاز في حالة حركة عشوائية مستمرة من خلال دراسة الحركة البراونية كمايلي :



شكل (٥ - ١)

الحركة البراونية

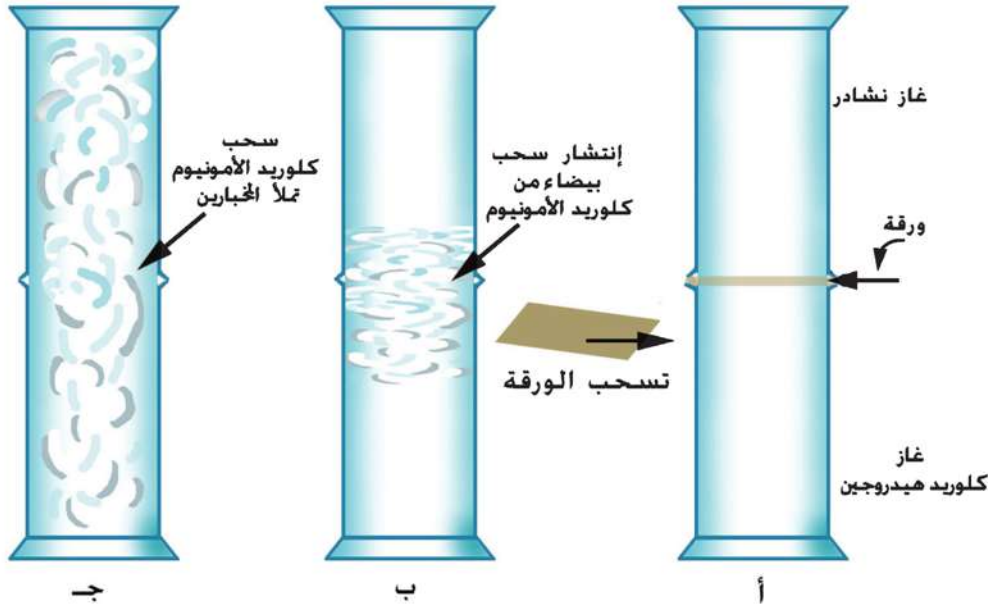
إذا فحصنا دخاناً متصاعداً من شمعة بواسطة الميكروسكوب لوجدنا دقائق الكربون المكونة للدخان تتحرك هنا وهناك حركات عشوائية، وحركة دقائق الكربون هذه تعرف بالحركة البراونية، إذ كان براون Brown عالم نبات اسكتلندي أول من اكتشف عام ١٨٢٧م أن حبوب اللقاح المعلقة في الماء تكون دائماً في حركة عشوائية.

تفسير الحركة البراونية :

تتحرك جزيئات الهواء (أو أى غاز) بسرعات مختلفة وفي جميع الإتجاهات بطريقة عشوائية. وأثناء حركتها تلك تصطدم مع بعضها البعض، كما تصطدم مع دقائق الكربون المكونة للدخان. وعندما يكون عدد التصادمات مع أحد جوانب دقيقة الكربون في لحظة معينة اكبر من عدد التصادمات مع الجانب المقابل، فإن دقيقة الكربون سوف تتحرك في اتجاه معين لمسافة قصيرة. والسبب في ذلك ان جزيئات الغاز - بعكس المواد الصلبة - حرة الحركة ، ودائمة التصادم ، فتغير اتجاهها عشوائياً بفعل الحرارة (شكل ٥-١)

ويمكن أن نستخلص من ذلك مايلي :

جزيئات الغاز فى حالة حركة عشوائية مستمرة، وأثناء حركتها تتصادم مع بعضها البعض كما تتصادم مع جدران الإناء الذى يحتويها.



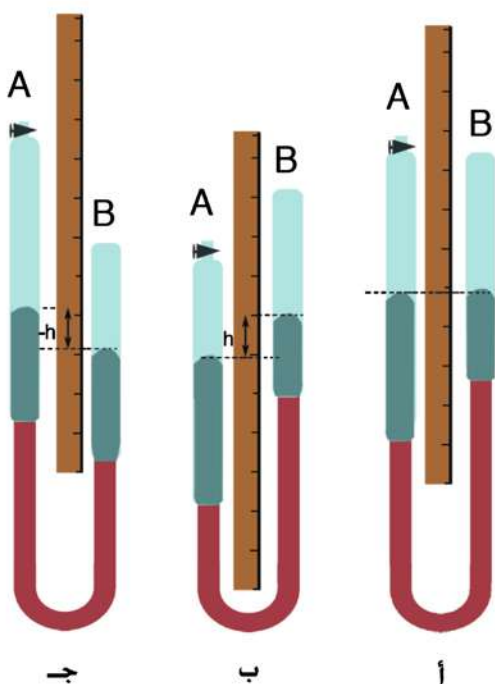
شكل (٥ - ٢)

توضيح وجود المسافات البينية بين جزيئات الغاز

-ويمكن إدراك وجود مسافات فاصلة بين جزيئات الغاز تعرف بالمسافات الجزيئية كما يلي:
إذا أخذنا مخبراً مليئاً بغاز النشادر ونكسناه فوق مخبر آخر مليء بغاز كلوريد الهيدروجين (شكل ٥-٢)، عندئذ سنشاهد تكون سحابة بيضاء من كلوريد الأمونيوم تأخذ فى النمو والانتشار حتى تملأ كل حيز المخبرين. يفسر ما حدث بأن جزيئات غاز كلوريد الهيدروجين - رغم كونه أكبر كثافة - تنتشر إلى أعلى متخللة مسافات فاصلة بين جزيئات غاز النشادر، حيث تتحد مع جزيئاته مكونة كلوريد الأمونيوم الذى تنتشر جزيئاته لتملأ المخبر العلوى . كما تنتشر جزيئات النشادر- رغم كونه أقل كثافة إلى أسفل خلال المسافات الفاصلة بين جزيئات غاز كلوريد الهيدروجين، حيث تتحد مع جزيئاته مكونة كلوريد الأمونيوم الذى تنتشر جزيئاته لتملأ المخبر السفلي.
ومما سبق نستخلص أن جزيئات الغاز بينها مسافات فاصلة كبيرة نسبياً تعرف بالمسافات الجزيئية. ويؤكد هذا قابلية الغازات للانضغاط، حيث تسمح المسافات الجزيئية الكبيرة نسبياً بتقارب جزيئات الغاز عند تعرضها للضغط، فيقل الحجم الذى يشغله الغاز.

قوانين الغازات:

أصبح من المؤكد أن التجارب التي تجرى لقياس التمدد الحراري لغاز ما معقدة لأن حجم الغاز يمكن أن يتغير بتغير كل من الضغط أو درجة الحرارة أو كليهما، مثل هذه الصعوبة لا تظهر في حالة الجوامد أو السوائل لأن قابليتها للانضغاط صغيرة جداً ويمكن إهمالها.



شكل (٥ - ٣)

جهاز بويل

ولإجراء دراسة تامة حول سلوك غاز ما، ينبغي أن نأخذ في الاعتبار وجود ثلاثة متغيرات هي الحجم والضغط ودرجة الحرارة. لذلك توجد ثلاث تجارب منفصلة، كل منها تستخدم لدراسة العلاقة بين متغيرين فقط مع تثبيت المتغير الثالث هذه التجارب هي :

١ - العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته (قانون بويل).

٢ - العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه (قانون شارل).

٣ - العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط أو قانون جولي).

وسنتناول فيمايلي دراسة كل من العلاقات الثلاث.

أولاً: العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته (قانون بويل):

- لدراسة العلاقة بين حجم مقدار معين من الغاز وضغطه عند ثبوت درجة حرارته، يستخدم الجهاز الموضح في الشكل (٥ - ٣) ويتكون من أنبوبة زجاجية (A) تشبه سحاحة مقلوبة يبدأ تدريجها من أعلى تتصل الأنبوبة (A) بأنبوبة أخرى (B) من الزجاج بواسطة أنبوبة من المطاط، وتحتوي الأنبوبتان على كمية مناسبة من الزئبق.

ويحمل الأنبوبتين قائم رأسي مثبت على قاعدة أفقية ترتكز على ثلاثة مسامير محواة يمكن بواسطتها جعل القائم رأسياً تماماً . والأنبوبة (B) قابلة للحركة على طول القائم الرأسى إلى أعلى أو إلى أسفل ويمكن تثبيتها فى أى موضع.

وتتبع الخطوات الآتية:

١ - نفتح صنبور الأنبوبة (A) مع تحريك الأنبوبة (B) إلى أعلى أو أسفل حتى يصبح سطح الزئبق في الأنبوبة (A) عند منتصفها (شكل ٥ - ٣ أ)

ونظرًا لأن الأنبوبتين مفتوحتان يكون سطحا الزئبق فيهما في مستوى أفقى واحد.

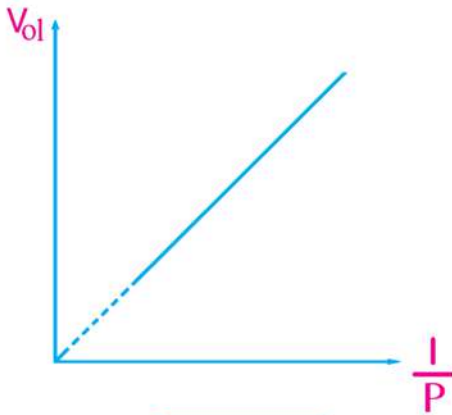
٢ - نغلق صنبور الأنبوبة (A) ونقيس حجم الهواء المحبوس وليكن $(V_{ol})_1$ وضغطه وليكن P_1 يساوى الضغط الجوى P_a cmHg الذى نعينه بواسطة البارومتر.

٣ - نحرك الأنبوبة (B) إلى أعلى مسافة مناسبة (عدة سنتيمترات)، وعندئذ نقيس حجم الهواء المحبوس وليكن $(V_{ol})_2$ ، ونقيس فرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الأنبوبتين وليكن h . وعندئذ يكون ضغط الهواء المحبوس هو $P_2 = P_a + h$ (شكل ٥ - ٣ ب).

٤ - نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل بتحريك الأنبوبة (B) إلى أعلى مسافة مناسبة أخرى ونعين P_3 ، $(V_{ol})_3$ بنفس الكيفية.

٥ - نحرك الأنبوبة (B) إلى أسفل حتى يصبح سطح الزئبق فى الأنبوبة (B) أقل من سطح الزئبق فى الأنبوبة (A) بعدة سنتيمترات وعندئذ نقيس حجم الهواء المحبوس وليكن $(V_{ol})_4$ وضغطه $P_4 = P_a - h$ ، حيث h فرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الأنبوبتين (شكل ٥ - ٣ ج).

٦ - نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى على الأقل بتحريك الأنبوبة (B) إلى أسفل مسافة أخرى ونوجد P_5 ، $(V_{ol})_5$ بنفس الكيفية.



شكل (٥ - ٤)

العلاقة بين حجم الغاز ومقلوب الضغط

٧ - نرسم علاقة بيانية بين حجم الغاز V_{ol} ممثلًا على المحور الرأسى ومقلوب الضغط $(\frac{1}{P})$ ممثلًا على المحور الأفقى نحصل على خط مستقيم كما فى الشكل (٥ - ٤)

ومن هذه العلاقة البيانية نتبين أن:

$$V_{ol} \propto \frac{1}{P}$$

ومن هذه العلاقة يكون :

حجم مقدار معين من غاز يتناسب تناسباً عكسياً مع ضغطه

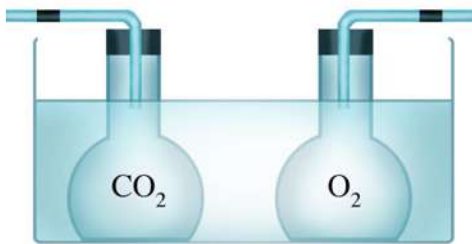
عند ثبوت درجة حرارته وهذا هو نص قانون بويل

ويمكن صياغة قانون بويل بكيفية أخرى حيث يكون $V_{01} = \frac{\text{const}}{P}$ أى أن:

$$P V_{01} = \text{const} \quad (5-1)$$

عند ثبوت درجة الحرارة يكون حاصل الضرب $P V_{01}$ لكمية معينة من غاز مقدارًا ثابتًا.

أثر الحرارة في حجم الغاز عند ثبوت ضغطه:



شكل (٥ - ٥)

أثر الحرارة في حجم الغاز مع ثبوت الضغط

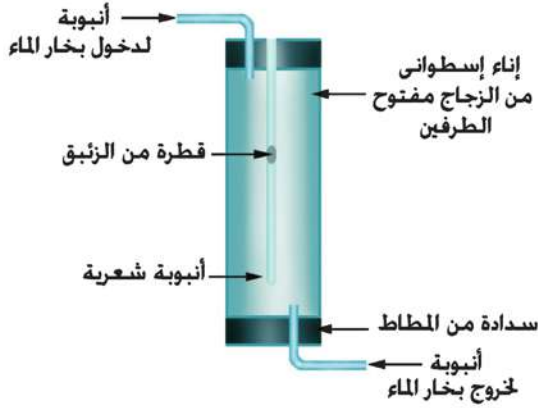
نعلم أن الغازات تتمدد بالحرارة وتنكمش بالبرودة. ولكن هل تتمدد الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة وهي تحت ضغط ثابت بمقادير مختلفة، أم بمقادير متساوية؟ لإدراك ذلك نجرى التجربة الآتية:

- ١- نأخذ دورقين متساويين في الحجم تماماً وفوهة كل منهما مسدودة بسدادة تنفذ منه أنبوبة زجاجية مثنية على زاوية قائمة بها زئبق على شكل خيط طوله 2cm أو 3cm ، وليكن أحدهما مملوءاً بالأكسجين والآخر مملوءاً بالهواء أو ثانى أكسيد الكربون ثم اغمرهما فى حوض به ماء كما فى شكل (٥ - ٥).
- ٢- أضف إلى ماء الحوض قليلاً من الماء الساخن ولاحظ مقدار المسافة التى يتحركها خيط الزئبق فى كل منهما.

نلاحظ أن خيطى الزئبق يتحركان مسافتين متساويتين مما يدل على أن الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد بمقادير متساوية إذا ارتفعت درجة حرارتها بنفس المقدار مع ثبوت ضغطها ومن ثم نتوقع أن يكون معامل التمدد الحجمى لها واحداً. معامل التمدد لغاز تحت ضغط ثابت:

« هو مقدار الزيادة فى وحدة الحجوم من الغاز وهى فى درجة 0°C إذا ارتفعت درجة حرارتها درجة واحدة مئوية مع بقاء ضغطها ثابتاً » ويرمز لها بالرمز (α_v)

ثانياً: العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت ضغطه (قانون شارل):

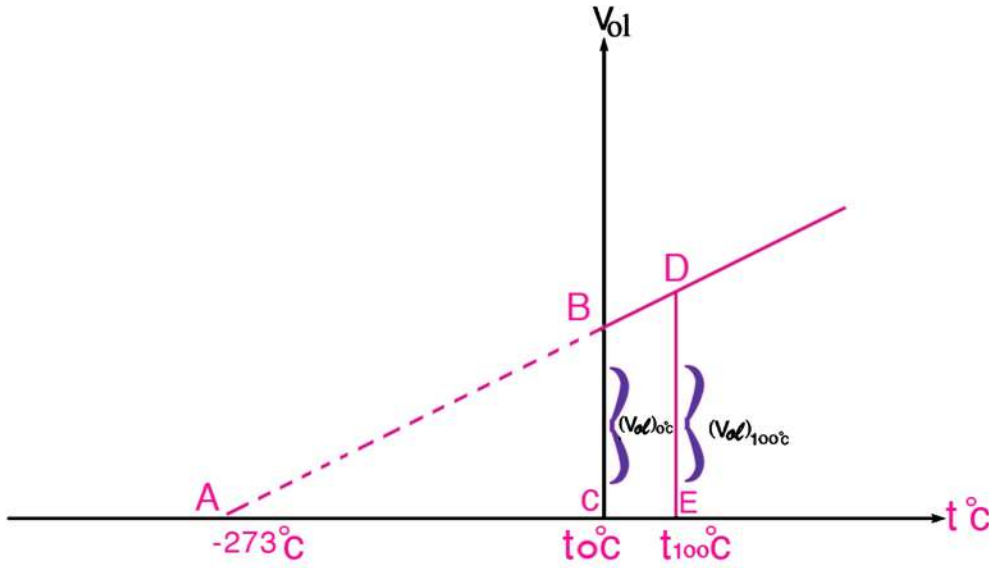


شكل (٥ - ٦)

جهاز شارل

لدراسة العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته ثبوت ضغطه يستخدم جهاز شارل المبين بالشكل (٥ - ٦)، ويتركب من أنبوبة زجاجية طولها 30cm وقطرها حوالي 1mm مقفلة من أحد طرفيها. بها قطرة من الزئبق تحبس كمية من الهواء داخل الأنبوبة، والأنبوبة مثبتة مع ترمومتر على مسطرة مدرجة داخل إناء أسطوانى من الزجاج وتتبع الخطوات الآتية:

١ - يوضع الجهاز السابق داخل غلاف من الزجاج، ويملاً الغلاف بجليد مجروش أخذ فى الانصهار ويترك فترة مناسبة حتى يبرد الهواء داخل الأنبوبة إلى 0°C .



شكل (٥ - ٦ ب)

قانون شارل

علاقة الحجم بدرجة الحرارة عند ثبوت الضغط

٢ - يقاس طول عمود الهواء المحبوس الذى يتخذ مقياساً لحجمه $(V_{01})_{0^{\circ}\text{C}}$ نظراً لأن الأنبوبة منتظمة

المقطع.

٣ - يفرغ الغلاف من الجليد والماء ، ثم يمرر بخار ماء في الغلاف من أعلى إلى أسفل مع الانتظار مدة مناسبة حتى تصبح درجة حرارة الهواء المحبوس 100°C ويقاس طول عمود الهواء المحبوس ، ويتخذ مقياساً لحجمه وليكن $(V_{01})_{100^{\circ}\text{C}}$

٤ - ترسم علاقة بين الحجم V_{01} ودرجة الحرارة (شكل ٥ - ٦ ب) نجد أن هذه العلاقة خط مستقيم وإذا مددنا هذا الخط ، فإنه يقطع المحور الأفقي عند قيمة -273°C

٥ - يعين معامل التمدد الحجمي للهواء عند ثبوت ضغطه من العلاقة:

$$\alpha_v = \frac{(V_{01})_{100^{\circ}\text{C}} - (V_{01})_{0^{\circ}\text{C}}}{(V_{01})_{0^{\circ}\text{C}} \times 100^{\circ}\text{C}} \quad (5-2)$$

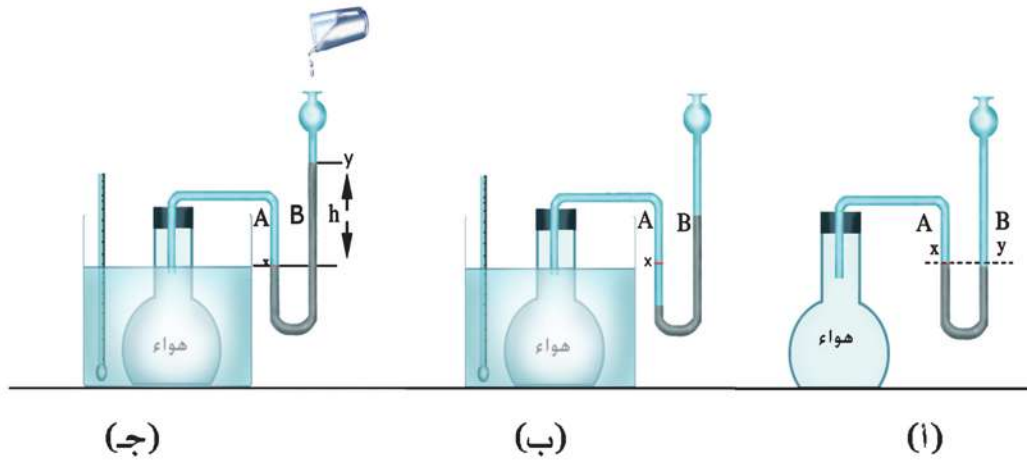
وقد وجد عملياً أن معامل التمدد الحجمي للهواء α_v يساوي $\frac{1}{273}$ لكل درجة ، ونظراً لأن الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد تحت ضغط ثابت بمقادير متساوية يكون لمعامل التمدد الحجمي للغازات المختلفة نفس القيمة . هذه النتيجة صاغها شارل كما يلي:

قانون شارل

عند ثبوت الضغط يزداد حجم كمية من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمها الأصلي عند 0°C لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره درجة واحدة ولا تختلف هذه القيمة من غاز لآخر.

أثر الحرارة في ضغط الغاز عند ثبوت حجمه:

١ - لدراسة تأثير الحرارة على ضغط غاز ما عند ثبوت حجمه ، نأخذ دورقاً زجاجياً مسدوداً بسدادة تنفذ منها أنبوبة ذات شعبتين (B) ، (A) كالمبينة في شكل (٥ - ٧) نلاحظ أن الأنبوبة تحتوي على كمية مناسبة من الزئبق يستقر سطحاه في الشعبتين (B) ، (A) في مستوى أفقي واحد عند (X) ، (Y) لذلك يكون ضغط الهواء المحبوس في الدورق مساوياً للضغط الجوي ثم نعين درجة حرارة الهواء ولتكن $t_1^{\circ}\text{C}$ شكل (٥ - ١٧)



شكل (٥ - ٧)

اثر الحرارة علي الضغط عند ثبوت الحجم.

- ٢ - نغمر الدورق في حوض به ماء دافئ درجة حرارته $t_2^{\circ}\text{C}$ نلاحظ أن سطح الزئبق يبدأ في الانخفاض في الشعبة (A) ، بينما يرتفع في الشعبة (B) (شكل ٥ - ٧ ب)
- ٣ - نصب زئبقاً في القمع حتى يعود سطح الزئبق في الشعبة (A) إلى العلامة (X) حتى يتساوى حجم الهواء المحبوس في الدورق وهو في $(t_2^{\circ}\text{C})$ مع حجمه وهو في $(t_1^{\circ}\text{C})$
- ٤ - نلاحظ أن سطح الزئبق في الشعبة (B) يعلو عن سطحه في (A) بمقدار معين وليكن $h(\text{cm})$ مما يدل على أن ضغط الهواء المحبوس قد ازداد نتيجة لارتفاع درجة الحرارة من $t_1^{\circ}\text{C}$ إلى $t_2^{\circ}\text{C}$ بمقدار يساوي $h(\text{cm Hg})$ (شكل ٥ - ٧ ج).
- ٥ - وإذا أجرينا التجربة السابقة عدة مرات مع ملء الدورق بغاز مختلف في كل مرة وتم تعيين مقدار الزيادة في ضغط الغاز مع ثبوت حجمه بارتفاع درجة الحرارة لنفس المقدار فإننا نكتبين مايلي:
 - ١ - عند ثبوت حجم الغاز يزداد ضغطه بارتفاع درجة الحرارة.
 - ٢ - عند ثبوت الحجم تزداد الضغوط المتساوية للغازات المختلفة بنفس المقدار إذا ارتفعت درجة حرارتها بمقادير متساوية .
- معامل الزيادة في الضغط هو مقدار الزيادة في وحدة الضغط المقاسة عند درجة 0°C إذا رفعت درجة حرارتها درجة واحدة عند ثبوت الحجم.

ثالثاً : العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت حجمه (قانون الضغط)

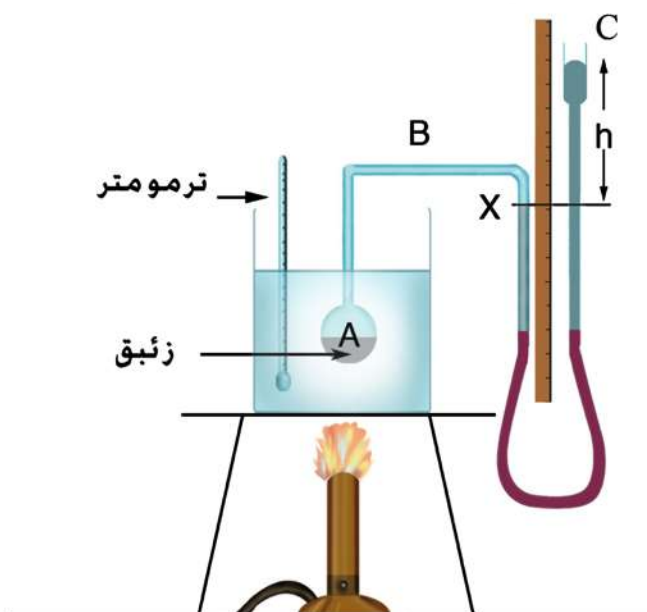
وجد عملياً أن الزيادة في ضغط الغاز تتناسب طردياً مع الضغط الأصلي المقاس عند درجة (°C) P_0 و 0°C وكذلك مع الارتفاع في درجة حرارته Δt °C . ويعبر عن هذا كمايلي :

$$\Delta P \propto P_0 \Delta t$$

$$\Delta P = \beta_P P_0 \Delta t$$

$$\beta_P = \frac{\Delta P}{P_0 \Delta t} \quad (5-3)$$

حيث β_P مقدار ثابت وهو زيادة ضغط الغاز مع درجة حرارته عند ثبوت حجمه.



شكل (٥ - ٨)

جهاز جولي

ولتعيين معامل زيادة ضغط الغاز عند ثبوت حجمه يستخدم جهاز جولي الموضح في الشكل (٥-٨)، ويتركب من مستودع كروي (A) من الزجاج رقيق الجدران، يتصل بأنبوبة شعيرية (B) طويلة ومنثنية على شكل زاويتين قائمتين ، وهو مثبت على لوحة رأسية مثبتة بدورها على قاعدة أفقية ترتكز على ثلاثة مسامير محواة. ويتصل طرف الأنبوبة الشعيرية (B) بواسطة انبوبة من المطاط بأنبوبة متسعة نوعاً ما

وهي الأنبوبة (C) والأنبوبة (C) قابلة للحركة إلى أعلى أو إلى أسفل على اللوحة الرأسية وتوجد مسطرة مدرجة مثبتة على هذه اللوحة.

وتتبع خطوات العمل الآتية :

١ - نعين الضغط الجوى وقت التجربة باستخدام البارومتر.

٢ - ندخل فى المستودع (A) $\frac{1}{7}$ حجمه زئبقاً ليظل حجم الجزء المتبقى منه ثابتاً فى جميع درجات الحرارة (حيث أن معامل التمدد الحجمى للزئبق سبع أمثال معامل التمدد الحجمى للزجاج).

٣ - نغمر المستودع (A) فى كأس به ماء ثم نصب زئبقاً فى الفرع الخالص (C) حتى يرتفع سطحه فى الفرع الآخر إلى علامة معينة (X)

٤ - نسخن الماء فى الكأس حتى يغلى وننتظر مدة مناسبة حتى تثبت درجة الحرارة ويقف انخفاض سطح الزئبق فى الفرع المتصل بالمستودع.

٥ - نحرك الفرع الخالص (C) إلى أعلى حتى يرتفع سطح الزئبق فى الفرع الآخر إلى نفس العلامة (X) ثم نقيس الفرق فى الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الفرعين وليكن (h) ومن ذلك نحدد ضغط الهواء المحبوس وليكن (P) وهو يساوى الضغط الجوى (cm Hg) مضافاً إليه الفرق فى الارتفاع (h)

٦ - نحرك الفرع (C) إلى أسفل ثم نوقف التسخين ونترك المستودع لتتخفض درجة حرارته إلى حوالى 90°C ، ثم نحرك الفرع (C) إلى أعلى حتى يرتفع سطح الزئبق فى الفرع المتصل بالمستودع إلى العلامة (X) ثم نعين درجة الحرارة وفرق الارتفاع بين سطحى الزئبق فى الفرعين ومن ذلك نحسب ضغط الهواء المحبوس فى هذه الحالة.

٧ - نكرر العمل السابق عدة مرات عند درجات حرارة مختلفة وفى كل مرة نحسب ضغط الهواء المحبوس بنفس الكيفية السابقة.

٨ - نرسم علاقة بيانية بين درجات الحرارة ممثلة على المحور الأفقى والضغط ممثلاً على المحور الرأسى نجد أن العلاقة خط مستقيم، ثم نحسب معامل الزيادة فى ضغط الغاز عند ثبوت حجمه من العلاقة :

$$\beta_P = \frac{P_{100^{\circ}\text{C}} - P_{0^{\circ}\text{C}}}{P_{0^{\circ}\text{C}} \times 100} \quad (5-4)$$

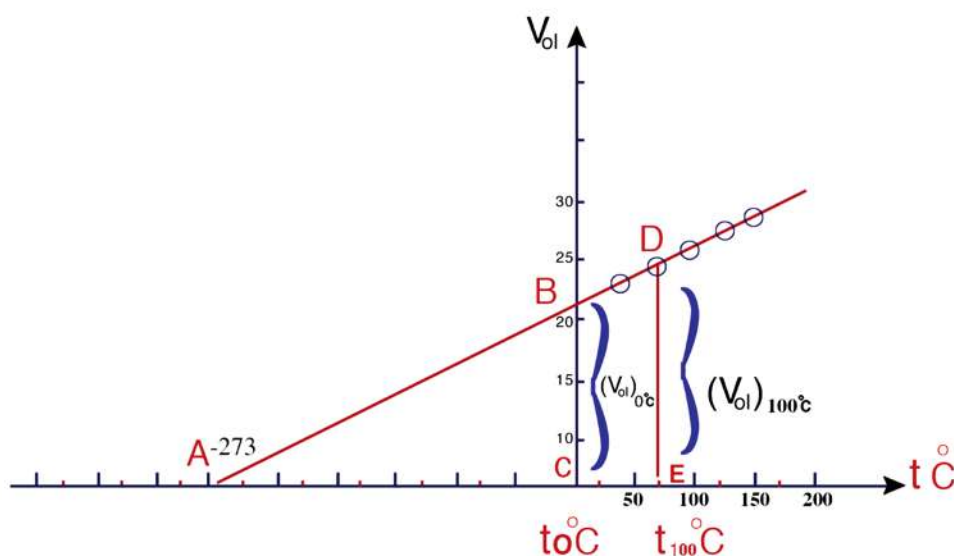
وقد وجد عملياً أن معامل زيادة ضغط الهواء عند ثبوت حجمه يساوى $\frac{1}{273}$ لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره درجة واحدة . ولقد وجد أن معامل زيادة ضغط الغازات المختلفة عند ثبوت حجومها يكون له نفس القيمة.

ويمكن من نتائج التجربة السابقة أن نتوصل إلى مايلي :

عند ثبوت الحجم يزداد ضغط كمية معينة من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من ضغطه في صفر سلفيوس لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره درجة واحدة . وهذا هو قانون الضغط.

الصفر المطلق (صفر كلفن) :

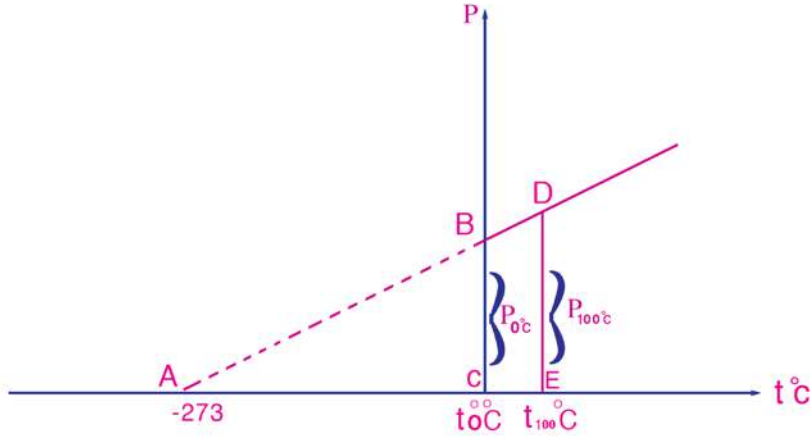
باستخدام الجهاز المبين بشكل (٥ - ٧) لقياس حجم الهواء المحبوس في درجات حرارة مختلفة . يمكننا رسم علاقة بيانية بين الحجم ممثلاً على المحور الرأسى ودرجة الحرارة مقاسة على تدريج سلفيوس ممثلة على المحور الأفقى ، نحصل على خط مستقيم كما فى الشكل (٥ - ٩) نمد هذا الخط المستقيم على استقامته نجد أنه يقطع محور درجات الحرارة عند (-273°C)



شكل (٥ - ٩)

استنتاج الصفر كلفن من قانون شارل

كما يمكن الاستعانة بالنتائج التي حصلنا عليها في تجربة جهاز جولى وتمثيل هذه النتائج بيانياً ، حيث تمثل الضغط على المحور الرأسى وتمثل درجة الحرارة مقاسة على تدريج سلزيوس على المحور الأفقى ، عندئذ يتم الحصول على خط مستقيم كما في الشكل (٥ - ١٠)
وعند مد هذا الخط المستقيم على استقامته يلاحظ أنه يقطع محور درجة الحرارة هو الآخر (-273°C)



شكل (٥ - ١٠)

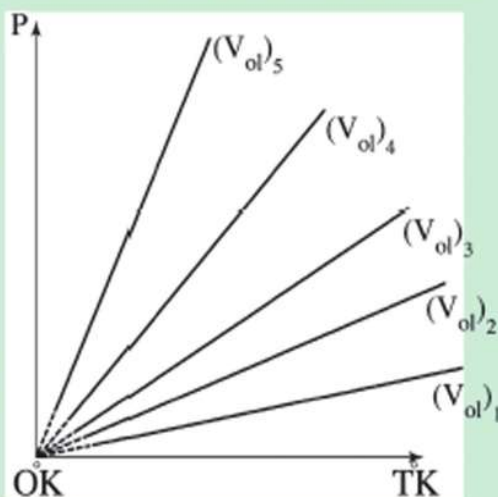
استنتاج الصفر المطلق من تجربة جولى

من الشكلين (٥ - ٩) و (٥ - ١٠) تكون أقل درجة حرارة يمكن الوصول إليها نظرياً هي -273°C هذه الدرجة تقابل ما يسمى الصفر المطلق أو صفر كلفن وهى درجة الحرارة التى ينعدم عندها حجم وضغط الغاز المثالى ، ودرجة الحرارة على مقياس كلفن قيمة موجبة دائماً بينما درجة سلزيوس $^{\circ}\text{C}$ تتدرج بين الموجب والسالب.

معلومة إثرائية

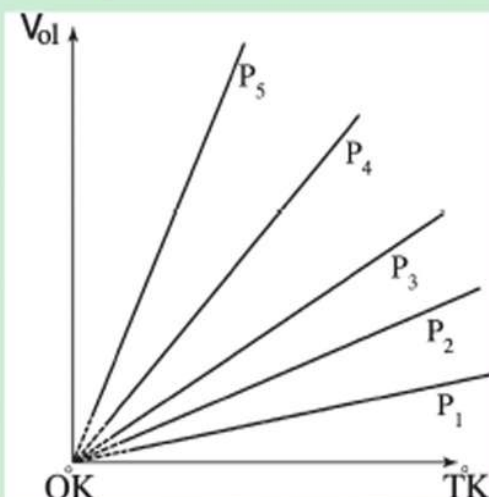
الصفر المطلق

يمكن إعادة رسم شكل (٥ - ٩ ، ٥ - ١٠) بحيث يكون المحور الأفقى هو درجة الحرارة المطلقة. فيكون لدينا شكل (٥ - ١١) و شكل (٥ - ١٢)، يلاحظ أنه عند درجة الصفر كلفن فإن الحجم $V_{ol} = 0$ والضغط $P = 0$ ، ولكن فى الواقع فإنه مع التبريد الشديد لا تظل المادة بحالتها الغازية، بل تتحول إلى سائل وأحياناً صلب، ومن ثم لا تخضع لقوانين الغازات. ولذلك فإن تعريف الغاز المثالى هو الغاز الذى يتلاشى حجمه وضغطه عند درجة الصفر المطلق. ويلاحظ أننا أهملنا القوى بين الجزيئات وحجم تلك الجزيئات بالنسبة للإناء فى استنتاج قوانين الغاز المثالى وهو ما يسمى بالغاز الكامل.



(شكل ٦ - ١٢)

علاقة الضغط بدرجة الحرارة المطلقة عند حجم ثابت



(شكل ٦ - ١١)

علاقة الحجم بدرجة الحرارة المطلقة عند ضغط ثابت

ولإيجاد العلاقة بين تدرج سلزيوس وتدرج كلفن نأخذ فى الاعتبار ما يلى:

 0°K تقابل -273°C 273°K يقابل 0°C 373°K تقابل 100°C

$$T(^{\circ}\text{K}) = 273 + t(^{\circ}\text{C})$$

(5-5)

أى أن:

صور أخرى لقانوني شارل وجولي (الضغط):

١- يمكن الاستعانة بالشكل (٥ - ٩) في الحصول على صيغة أخرى لقانون شارل. من تشابه المثلثين

ABC ، ADE حيث :

$$BC = (V_{ol})_1$$

$$DE = (V_{ol})_2$$

$$AC = T_1$$

$$AE = T_2$$

$$V_{ol} \propto T$$

$$\frac{V_{ol}}{T} = \text{const}$$

$$\therefore \frac{(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{(V_{ol})_2}{T_2} \quad (5-6)$$

وبذلك يكون

عند ثبوت الضغط يتناسب حجم كمية معينة من غاز تناسباً طردياً مع درجة حرارته على تدرج كلفن. وهذه صيغة أخرى لقانون شارل.

٢- وبالاستعانة بالشكل (٥ - ١٠) وبنفس طريقة تشابه المثلثين يمكن الحصول على العلاقة:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (5-7)$$

$$\frac{P}{T} = \text{const}$$

أى أن

$$P \propto T$$

وبذلك يكون:

عند ثبوت الحجم يتناسب ضغط كمية معينة من غاز تناسباً طردياً مع درجة حرارته على تدرج كلفن. وهذه صيغة أخرى لقانون الضغط.

القانون العام للغازات:

ذكرنا فيما سبق أن سلوك غاز ما يمكن وصفه بمتغيرات ثلاثة هي الحجم والضغط ودرجة الحرارة، والعلاقة التي تربط بين المتغيرات الثلاثة هي القانون العام للغازات.

ويمكن استنتاج القانون العام للغازات كما يلي:

من قانون بويل $V_{ol} \propto \frac{1}{P}$ عند ثبوت درجة الحرارة

من قانون شارل $V_{ol} \propto T$ عند ثبوت الضغط

من ذلك نتبين أن: $V_{ol} \propto \frac{T}{P}$ عند ثبوت درجة الحرارة

ومن هذه العلاقة: $V_{ol} = \text{const} \times \frac{T}{P}$
 $\therefore \frac{P V_{ol}}{T} = \text{Const}$ أى أن:

$$\boxed{\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2}} \quad (5-8)$$

وهذا هو القانون العام للغازات

أمثلة:

١- إذا كان حجم غاز في درجة صفر سلفيوس 450 cm^3 فما حجمه في 91°C بفرض أن ضغطه يظل

ثابتاً؟

الحل:

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{450}{(V_{ol})_2} = \frac{273}{273 + 91}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{450 \times 364}{273} = 600 \text{ cm}^3$$

٢- سخن نصف لتر من الهيدروجين من 10°C إلى 293°C فكم يكون حجمه بفرض أن ضغطه ثابت؟

الحل:

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{500}{(V_{ol})_2} = \frac{273 + 10}{273 + 293}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{500 \times 566}{283} = 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ liter}$$

٣- إذا كان ضغط غاز 26°C هو 59.8 cmHg فما ضغطه عند 130°C مع العلم بأنه ثابت الحجم؟

الحل:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{59.8}{P_2} = \frac{273 + 26}{273 + 130}$$

$$P_2 = \frac{59.8 \times 403}{299} = 80.6 \text{ cmHg}$$

٤- مقدار من غاز يشعل في درجة 27°C وتحت ضغط 60 cmHg حجما قدره 380 cm^3 فكم يكون

حجمه عند معدل الضغط ودرجة الحرارة (S.T.P)؟

الحل:

(S.T.P) معناه أنه تحت ضغط 76 cmHg وفي درجة حرارة 0°C أو 273 K

$$\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2}$$

$$\frac{60 \times 380}{300} = \frac{76 \times (V_{ol})_2}{273}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{60 \times 380 \times 273}{76 \times 300} = 273 \text{ cm}^3$$

٥- مقدار من غاز النيتروجين حجمه 15 liters عندما يكون الضغط الواقع عليه 12 cmHg ومقدار من غاز الأكسجين حجمه 10 liters عندما يكون الضغط الواقع عليه 50 cmHg وضعا في إناء مقفل سعته 5 liters، فإذا كانت درجة حرارة الغازين ثابتة أثناء خلطهما فأوجد ضغط مزيجهما.

الحل:

كل من الغازين يشغل بهذا الخلط سعة الإناء أى 5 liters

لإيجاد ضغط غاز النيتروجين بعد الخلط يطبق القانون:

$$P V_{ol} = P_1 (V_{ol})_1$$

$$\therefore 12 \times 15 = P_1 \times 5$$

$$P_1 = 36 \text{ cmHg}$$

لإيجاد ضغط غاز الأكسجين نطبق العلاقة

$$P V_{ol} = P_2 (V_{ol})_2$$

$$P_2 = \frac{10 \times 50}{5} = 100 \text{ cm Hg}$$

وبما أن ضغط مخلوط غازين يساوى مجموع الضغطين الجزئيين لهما فإن ضغط مخلوط الغازين

$$P = P_1 + P_2 = 36 + 100 = 136 \text{ cm Hg}$$

تلخيص:

(١) التعاريف والمفاهيم الأساسية:

- جزيئات الغاز في حالة حركة عشوائية مستمرة تتصادم مع بعضها البعض كما تتصادم مع جدران الإناء الذي يحتويها.
- توجد مسافات فاصلة بين جزيئات الغاز تعرف بالمسافات الجزيئية.
- قانون بويل: عند ثبوت درجة الحرارة يتناسب حجم كمية معينة من غاز تناسباً عكسياً مع ضغطها.
- قانون شارل: عند ثبوت الضغط يزداد حجم مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمه الأصلي عند 0°C لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقدارها درجة واحدة. أو يتناسب حجم كمية ثابتة من الغاز مع درجة الحرارة المطلقة تحت حجم ثابت.

- قانون الضغط (جولي): عند ثبوت الحجم يزداد ضغط مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من ضغطه الأصلي عند 0°C لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره درجة واحدة. أو يتناسب ضغط كمية ثابتة من الغاز مع درجة الحرارة المطلقة تحت حجم ثابت.

- معامل زيادة الضغط بزيادة درجة الحرارة عند ثبوت الحجم = معامل زيادة الحجم بزيادة درجة الحرارة عند ثبوت الضغط = $\frac{1}{273}$ لكل الغازات

- درجة الحرارة المطلقة (على مقياس كلفن) = درجة الحرارة على تدرج سيلزيوس مضافاً إليها 273

٢- القوانين الهامة:

إذا كان V_{01} حجم كمية معينة من غاز ، P ضغطها T درجة حرارتها على مقياس كلفن فإن:

- قانون بويل $PV_{01} = \text{const}$ عند ثبوت درجة الحرارة.

- قانون شارل $\frac{V_{01}}{T} = \text{const}$ عند ثبوت الضغط

- قانون الضغوط $\frac{P}{T} = \text{const}$ عند ثبوت الحجم.

القانون العام للغازات

$$\frac{P_1(V_{01})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{01})_2}{T_2} = \text{const} \text{ أي أن}$$

- معامل ازدياد الحجم بازدياد درجة الحرارة عند ثبوت الضغط.

$$\alpha_v = \frac{V_{t^\circ\text{C}} - V_{0^\circ\text{C}}}{V_{0^\circ\text{C}} \times \Delta t_{^\circ\text{C}}} = \frac{1}{273} \text{ لكل درجة}$$

- معامل ازدياد الضغط بازدياد درجة الحرارة عند ثبوت الحجم.

$$\beta_p = \frac{P_{t^\circ\text{C}} - P_{0^\circ\text{C}}}{P_{0^\circ\text{C}} \times \Delta t_{^\circ\text{C}}} = \frac{1}{273} \text{ لكل درجة}$$

أسئلة وتمارين:

أولاً: أكمل:

أي العبارات تكمل الجمل التالية لها:

- (أ) يزيد بمقدار صغير. (ب) يقل بمقدار صغير. (ج) يظل ثابتاً.
 (د) يتضاعف. (هـ) ينقص إلى النصف.
 ١- إذا تضاعف ضغط كمية معينة من غاز عندما تكون درجة الحرارة ثابتة فإن الحجم
 ٢- إذا انتقل بارومتر من مستوى سطح البحر إلى أعلى جبل فإن ارتفاع الزئبق في البارومتر
 ٣- إذا كان ضغط الغاز ثابتاً وقلت درجة حرارته على تدريج كلفن إلى النصف فإن حجمه

ثانياً : تخير الإجابة الصحيحة

١- زيادة درجة حرارة إطار السيارة يؤدي إلى:

- (١) زيادة ضغط الهواء داخل الإطار
 (٢) زيادة حجم الهواء داخل الإطار
 (٣) نقص مساحة سطح الجزء من العجلة الملاصقة للطريق
 اختر الحرف المناسب فيما يلي للإجابة

- (أ) (١، ٢، ٣) صحيحة (ب) (١، ٢) صحيحة (ج) (١، ٣) صحيحة
 (د) (٣) فقط صحيحة (هـ) (١) فقط صحيحة
 ٢- درجة حرارة جسم الإنسان على مقياس كلفن لدرجات الحرارة تساوى تقريباً.
 (أ) 0 K (ب) 37 K (ج) 100 K (د) 373 K (هـ) 310 K

٣- يتناسب حجم كمية محدودة من غاز ما:

- (أ) عكسياً مع درجة حرارته عند ثبوت ضغطه
 (ب) عكسياً مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته
 (ج) طردياً مع ضغطه عند ثبوت درجة حرارته
 (د) طردياً مع درجة حرارته عند تغير الضغط
 (هـ) عكسياً مع ضغطه عند تغير درجة حرارته

٤- ضغط الغاز عند 10°C يتضاعف إذا تم تسخين الغاز تحت حجم ثابت إلى:

- (أ) 20°C (ب) 80°C (ج) 160°C (د) 293°C (هـ) 410°C

٥- إذا انضغط غاز ببطء إلى نصف حجمه الأصلي فإن:

- (أ) درجة حرارة الغاز ستتضاعف.
 (ب) درجة حرارة الغاز ستتناقص إلى نصف قيمتها.
 (ج) ضغط الغاز سيصل إلى النصف.
 (د) سرعة الجزيئات تتضاعف.
 (هـ) ضغط الغاز سيتضاعف.

ثالثاً: أسئلة المقال:

- ١- كيف تبين بالتجربة أن معامل التمدد الحجمي لجميع الغازات واحد عند ثبوت الضغط؟
 ٢- صف طريقة لإيجاد معامل ضغط الغاز عند ثبوت حجمه وأنه ثابت لجميع الغازات.
 ٣- كيف تحقق قانون بويل عملياً؟
 ٤- كيف تبين بالتجربة أن ضغط الغاز يزداد بارتفاع درجة الحرارة عند ثبوت الحجم؟
 ٥- كيف تعين صفر كلفن؟
 ٦- اشرح معنى صفر كلفن ودرجة الحرارة على تدريج كلفن.
 ٧- استنبط القانون العام للغازات

رابعاً: تمارين

- ١- لتر غاز في 10°C رفعت درجة حرارته وهو ثابت الضغط إلى 293°C فأوجد حجمه.
 (2 Liter)
 ٢- إناء مقفل به هواء في درجة 0°C برد إلى (91°C) فصار الضغط به 40cmHg فكم يكون ضغط الهواء عند 0°C
 (60cm Hg)
 ٣- كمية من الأكسجين تشغل في 91°C وتحت ضغط 84cmHg 760 cm^3 فكم يكون حجمها في درجة 0°C وتحت ضغط 76 cm Hg (في معدل الضغط ودرجة الحرارة S.T.P)
 630 cm^3
 ٤- ورق به هواء سخن من 15°C إلى 87°C فكم نسبة حجم ما خرج منه من الهواء إلى ما كان موجود به؟
 (25%)
 ٥- إطار سيارة به هواء ضغطه 1.5Atm في يوم كانت درجة حرارته (-3°C) احسب ضغط الهواء في الإطار عندما ترتفع درجة الحرارة إلى 51°C بفرض ثبوت الحجم
 (1.8 Atm)
 ٦- فقاعة من الهواء على عمق 10.13m تحت سطح ماء عذب حجمها 28 cm^3 احسب حجمها قبل أن تصل إلى سطح الماء مباشرة بفرض أن درجة حرارة الماء عند العمق المشار إليه هي 7°C ودرجة الحرارة عند السطح 27°C (اعتبر عجلة الجاذبية الأرضية 10 ms^{-2} والضغط الجوي $1.013 \times 10^5\text{ N/m}^2$ وكثافة الماء 1000 kg/m^3).
 (60cm³)